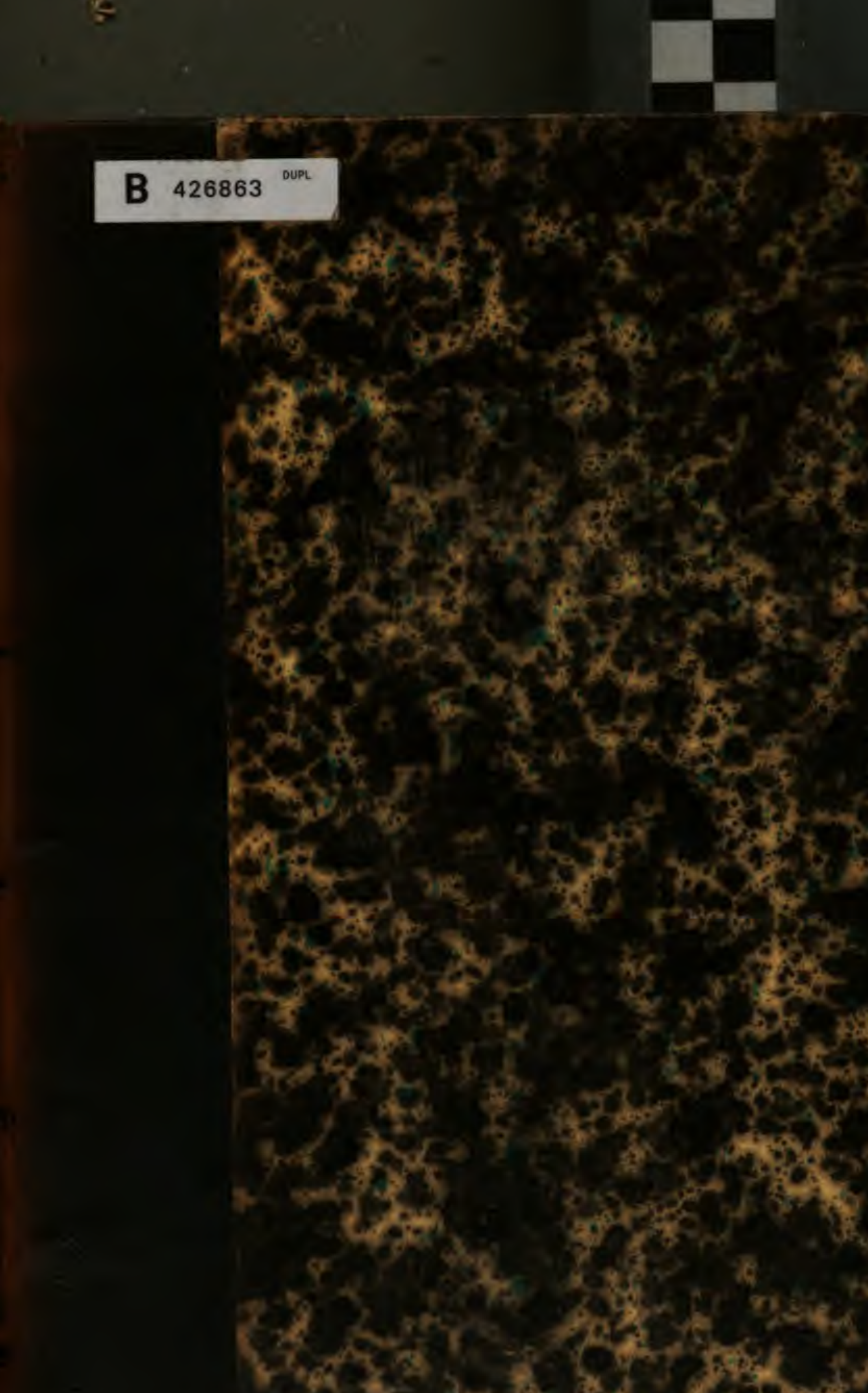

B 426863
DUPL


1837
ARTES
SCIENTIA
VERITAS
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
DEPARTMENT
OF
ENGINEERING



SOCIÉTÉ

DES

INGÉNIEURS CIVILS

ANNÉE 1880

La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses Membres dans les discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ

DES

INGÉNIEURS CIVILS

FONDÉE LE 4 MARS 1848

RECONNUE D'UTILITÉ PUBLIQUE PAR DÉCRET IMPÉRIAL DU 22 DÉCEMBRE 1860

ANNÉE 1880

DEUXIÈME VOLUME

PARIS

SIÈGE DE LA SOCIÉTÉ

10, CITÉ ROUGEMONT, 10

—

1880

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

JUILLET 1880

N° 7

Pendant le mois de juillet les questions suivantes ont été traitées :

1° *Chauffage et Ventilation* (Discussion générale). Lettre de M. Bourdais (séance du 2 juillet, page 41).

2° *Verre nacré (Échantillons de)*, présentés par M. Clémandot (séance du 2 juillet, page 42).

3° *Chemins de fer d'Intérêt local et Tramways* (Observations de M. Ivan Flachat sur) (séance du 2 juillet, page 42).

4° *Dosage rapide de l'argent et du mercure* (Nouvelles méthodes d'analyse pour le). Communication de M. Paul Charpentier (séance du 2 juillet, page 44).

5° *Freins continus à embrayage électrique*. Communication de M. Achard (séance du 2 juillet, page 45).

6° *Décès* de M. Isaac Pereire (séance du 16 juillet, page 59).

7° *Accident du pont de la Tay* (Communication de M. Seyrig, sur les conclusions de l'enquête relative à l') (séance du 16 juillet, page 60).

8° *Extraction du sucre des mélasses* (Communication de M. Manoury sur l') (séance du 16 juillet, page 65).

9° *Chaleur et Théorie générale des machines frigorifiques*. Communication de M. Raoul Pictet (séance du 16 juillet, page 71).

Pendant le mois de juillet la Société a reçu :

Un exemplaire, texte et atlas, des extraits du *Mémorial de l'Artillerie de la Marine* (volume XLIII). *Instruments pour la mesure des distances*, par M. de Marre, offert par M. Le Cyre, membre de la Société.

De M. Lacroze, membre de la Société, une note sur un *Nouveau système d'attaches et de traverses métalliques*.

De M. Gaune, membre de la Société, son projet de *Caisse générale de retraite*.

De M. E. Carez, ingénieur honoraire des ponts et chaussées, une *Note relative aux ascenseurs aérateurs établis à l'hôpital Saint-Pierre, à Bruxelles*.

De M. Benoît-Duportail, membre de la Société, un *Traité élémentaire et pratique de la résolution générale des équations d'un degré quelconque*.

De M. Leblanc (Félix), membre de la Société, une *Notice biographique sur M. Pierre-Antoine Favre*. Extrait du bulletin de la Société d'encouragement (avril 1880).

Les Membres nouvellement admis sont :

MM. Bixby,	présenté par MM.	Gottschalk, Mallet et Pontzen.
Brochocki (de),	—	Zbyszowski, Léger et Temple Ellicot.
Cerbelaud,	—	Carimantrand, Berthelière (de la) et Moreau.
Collignon,	—	Béliard, Delannoy et Gottschalk.
Cochelin,	—	Jaunet, Jouvet et Marchal.
Decazes,	—	Forquenot, Gottschalk et Mallet.
Dupès,	—	Gottschalk, Ling et Mallet.
Dony,	—	Barrault, Brivet et Gottschalk.
Feray,	—	Denis, Gottschalk et Jordan.
Michau,	—	Daguin, Martin et Maure.
Pictet,	—	Colladon, Gottschalk et Ribourt.
Raabe,	—	Gottschalk, Molinos et Régnard.
Siméon,	—	Deghilage, Flamand et Morandière.
Westinghouse,	—	Bailly, Gottschalk et Mallet.

Comme Membres Associés :

MM. CHANDELIER, présenté par MM. Carimantrand, Germon et Mallet.
DENILLE, — Carimantrand, Mallet et Marché.
JOUBERT, — Gottschalk, Loustau et Nordling.
RAUX, — Bezy, Carimantrand et Mallet.
WILLETT — Gautier, F. Remaury et Rubin.

NOTES

SUR LES

CONDITIONS D'ÉTABLISSEMENT ET D'EXPLOITATION

DES

CHEMINS DE FER D'INTÉRÊT LOCAL

PAR M. JULES FLACHAT.

Les Chemins de fer d'intérêt local devant généralement produire de faibles recettes, leur construction doit nécessairement être très économique, mais cependant elle doit être rationnelle.

Le rôle de ces chemins de fer est de relier aux grandes lignes des centres manufacturiers, ou agricoles, ou simplement populeux non desservis par les lignes ferrées déjà établies et, au besoin, de créer ou de compléter des lignes transversales partout où la construction d'un chemin de fer d'intérêt général ne pourrait trouver un trafic suffisant.

Le moyen le plus radical de construire économiquement ces chemins de fer est de restreindre la largeur de la voie ; mais comme l'adoption d'une voie étroite entraîne un transbordement des marchandises en transit venant des lignes à voie normale, et que ce transbordement coûte de 20 à 35 centimes par tonne, ce qui correspond à la taxe sur 2 à 3 kilomètres, il y a lieu de tenir compte d'une manière ou d'une autre de ces frais supplémentaires dans l'établissement des taxes.

Lors même que la taxe pour les marchandises atteindrait 15 et 16 centimes par tonne et par kilomètre, s'il n'y a pas allongement de parcours, le chemin de fer sera toujours préféré aux routes.

La taxe pour les voyageurs doit être très peu élevée pour être facilement acceptée.

Le chemin de fer d'intérêt local doit desservir la contrée au moyen de garages petits ou grands assez nombreux, de manière à être le plus possible à même de recevoir ou de récolter les éléments de

trafic que présente le pays, et il doit causer le moins possible d'entraves à la circulation sur les chemins vicinaux ou autres. A défaut d'embranchements allant du chemin de fer aux centres commerciaux ou industriels, ce sont les chemins vicinaux qui servent de branchements à la ligne ferrée, lors même qu'ils suivent la même direction.

Le tracé et le profil en long des chemins vicinaux et des routes départementales ne sont généralement pas convenables en tous points pour y adapter un chemin de fer, en s'emparant d'un des accotements. Pour chaque partie de la ligne il y a toujours lieu d'examiner, sans parti pris, quelle est la solution la plus rationnelle à adopter; soit de placer le chemin de fer sur l'accotement ou sur la chaussée, soit de l'accoler à la route, soit enfin de le tracer à travers champs.

Faire suivre, quand même à un chemin de fer d'intérêt local toutes les inflexions d'un chemin vicinal ou d'une route départementale, soit en installant le chemin de fer sur le chemin, soit en le mettant en bordure, c'est s'exposer souvent à créer une ligne très difficile à exploiter et plus coûteuse comme premier établissement qu'une autre ligne tracée à travers champs.

La circulation banale sur une route où l'on établit un chemin de fer est une cause constante d'accidents possibles, mais toujours faciles à éviter avec de la prudence et une faible vitesse.

Elle oblige les mécaniciens à 'arrêter les trains ou à en ralentir la marche partout où ils prévoient qu'une voiture, un animal, ou même un piéton peut venir se mettre sur la voie ou à une trop faible distance de la voie.

En fait lorsqu'un chemin de fer emprunte une route, son exploitation doit se rapprocher de celle des tramways, ou bien c'est un instrument dangereux qu'il faut isoler par une clôture ou lui abandonner la route.

Malgré l'usage d'une faible vitesse, l'emprunt d'une partie de la plate-forme des routes et chemins, pour y créer un chemin de fer, cause une gêne d'autant plus sérieuse à la circulation banale que la route ou le chemin est moins large et que le dépôt des matériaux d'entretien de la chaussée et celui des détritus viennent restreindre plus sensiblement la largeur laissée libre pour la circulation.

Soutenir l'inverse, c'est affirmer que la largeur des routes départementales et des chemins vicinaux est abusive, qu'elle peut être dimi-

nuée de beaucoup sans inconvénients et que c'est à tort qu'on a créé des accotements sur les routes et chemins.

Or, s'il y a abus de largeur, c'est plutôt sur les routes nationales.

Cet emprunt qui nuit aussi bien à la circulation sur le chemin de fer qu'à la circulation banale fait descendre, comme largeur, l'importance d'une route départementale à celle d'un chemin vicinal, et celui-ci à l'importance d'un chemin rural.

On peut prévoir que les départements et les communes qui permettent l'établissement de chemins de fer sur les accotements, seront entraînés à élargir les chemins qu'ils auront rétrécis.

L'abandon d'une partie de la largeur des chemins au profit des chemins de fer d'intérêt local ne devrait se faire, en principe, que sur des routes et chemins de 9 à 10 mètres de largeur ou bien sur des longueurs restreintes et pour des motifs importants, comme la traversée d'un cours d'eau, d'une vallée profonde, de remblais ou déblais considérables, la traversée ou les abords d'un village, etc., etc., et encore dans ces divers cas, il y a des réserves à faire (notamment la création de lieux de dépôt de matériaux d'entretien et de détritus des routes et chemins pour remplacer l'accotement supprimé et n'avoir pas à encombrer celui qui reste).

Il faut considérer les parties de voies posées sur les routes et chemins comme des passages à exploiter d'une façon toute différente de celle permise pour les parties simplement accolées à la route et surtout pour celles à travers champs.

Adopter les rampes excessives d'une route, lorsqu'il y a possibilité de les éviter, c'est créer en certains points des barrières à l'exploitation régulière et s'obliger à avoir des machines plus lourdes, une voie plus forte et une exploitation plus onéreuse que si, par des travaux de terrassements, on rectifiait ces quelques passages difficiles.

Il vaut mieux dépenser 50,000 francs de terrassements sur une ligne pour supprimer ou diminuer les fortes pentes exceptionnelles, que de dépenser 30,000 ou 35,000 francs en machines supplémentaires ou en exagération de puissance et de poids sur les machines strictement nécessaires.

Compter sur la vitesse acquise par les trains sur les paliers et les rampes faibles pour gravir les rampes exagérées, est logique sur les lignes tracées à travers champs et, jusqu'à un certain point, sur celles longeant les routes en dehors de la plate-forme de ces routes.

Y compter lorsque le chemin de fer est établi sur la plate-forme même de la route, c'est une faute que le contrôle pourra laisser passer tant qu'il n'en verra pas clairement les conséquences, mais c'est surtout un genre d'exploitation éminemment vicieux puisque le train peut constamment rencontrer des obstacles qui le forcent de s'arrêter ou de ralentir à tout endroit et par suite à redescendre les rampes que la machine ne pourrait gravir sans vitesse acquise.

Le passage des faîtes est notamment dangereux, parce que le faîte cache la partie de la route qui est de l'autre côté et les obstacles qui viennent à l'encontre du train.

Les machines, desservant un chemin de fer d'intérêt local sur route, devant être capables de démarrer les trains les plus lourds dans toutes les parties du tracé et du profil en long, ou tout au moins devant être capables de les remorquer à faible vitesse, doivent être plus puissantes et par suite plus lourdes que celles desservant un chemin de fer à travers champs; à moins que sur la route comme à travers champs il y ait absence de rampes sensibles.

Cette absence de rampes sur les chemins est rare; elle constitue une particularité et non pas une généralité.

Indépendamment de la vitesse à donner aux trains, la puissance et le poids des machines sont en proportion des rampes et des courbes à franchir; à des machines plus puissantes correspond une voie plus forte et plus chère; le prix du mètre courant de voie est donc en proportion avec les pentes les plus fortes que l'on conservera sur la ligne ferrée établie sur route.

Il n'en sera pas absolument de même pour les lignes créées à travers champs, où l'on pourra se servir de la vitesse acquise pour franchir les fortes rampes.

Dans les traversées de village la voie à ornière est de rigueur, ou du moins, c'est celle qui présente le moins d'inconvénients pour la circulation banale.

L'ornière doit être limitée en profondeur partout où sa largeur excède 35 à 37 millimètres, pour éviter que les roues des voitures ordinaires ne s'y encastrent trop profondément et ne se cassent par suite de la moindre déviation donnée au véhicule.

Les dimensions des mantonnets ou boudins des roues des wagons et machines et un certain jeu horizontal et vertical, motivent les di-

mensions des ornières dans les alignements droits et les courbes à grand rayon.

Dans les courbes plus prononcées, la largeur de l'ornière doit être augmentée de la quantité nécessaire pour l'inscription des mantonnets des roues et d'un jeu supplémentaire pour faciliter le mouvement des wagons dans les courbes. Les machines à six roues exigent des ornières plus larges que les machines à quatre roues.

Avec des largeurs d'ornière allant jusqu'à 50 et même 60 millimètres, la paroi de l'ornière qui est formée par le contre-rail doit être évasée pour permettre aux roues des voitures ordinaires de sortir facilement de l'ornière et éviter le bris des essieux et des roues.

Le contre-rail peut être moins élevé que le rail pour diminuer la profondeur de l'ornière et faciliter la sortie des roues qui y seraient entrées.

La saillie des mantonnets des roues des wagons et machines doit être en rapport avec la plus grande vitesse que doivent prendre les trains sur les différentes parties de la ligne.

La réduire au-dessous de 25 millimètres paraît être dangereux, si la vitesse peut atteindre 20 à 25 kilomètres à l'heure.

L'usure augmentant la saillie des mantonnets des roues, la profondeur des ornières doit être limitée en conséquence.

Les voies avec ornières n'ont pas même largeur entre les rails que les voies ordinaires. Pour éviter l'exagération de largeur des ornières, le jeu de 10 à 15 millimètres observé ordinairement entre l'extérieur du mantonnet de la roue et le rail, doit être réduit de moitié ou des deux tiers.

Le passage des trains sur les voies à ornière exige un effort de traction plus considérable que sur les voies ordinaires pour les mêmes conditions de tracé et de profil.

Les conditions d'égouttement des eaux adoptées pour les chemins vicinaux, sont généralement peu favorables à l'établissement d'un chemin de fer sur routes, à moins de poser le ballast sur la plate-forme même du chemin et sans encaissement, mais alors la largeur du chemin vicinal laissé libre est extrêmement réduite.

En général il faut s'attendre, dans l'établissement d'un chemin de fer sur routes, à modifier au moins un des fossés de la route.

Le chemin de fer construit sur l'accotement maintient l'humidité sur

la route et cette humidité est cause d'une plus prompte détérioration des traverses.

Les chemins de fer d'intérêt local demandent pour leur établissement une étude plus minutieuse que les grandes lignes, si l'on veut proportionner l'importance du chemin de fer aux services qu'il doit rendre sans aller au delà du strict nécessaire.

Il est cependant à peu près impossible de déterminer exactement à l'avance la quantité de matériel roulant qu'il faudra affecter à un chemin de fer d'intérêt local pour un trafic déterminé par l'évaluation d'une recette moyenne kilométrique et annuelle et de plus il faut toujours réserver l'avenir.

La suppression complète des bâtiments des stations, des quais et des abris pour les marchandises, des grues de transbordement, comme il y a tendance à le faire, peut être considérée comme une faute grave nuisible au développement du trafic.

Le trafic des chemins de fer d'intérêt local, sans transit, subit des fluctuations plus sensibles que celui des grandes lignes. Les fabriques et les usines procurent un trafic plus constant que les centres agricoles et commerciaux.

Les variations qui atteignent le trafic de ces petites lignes ne s'étendent pas seulement à son importance, mais elles affectent encore les directions.

Non seulement chaque jour, chaque semaine, chaque mois, chaque saison apporte une modification dans l'importance et dans la nature du trafic, mais il arrive que la masse des transports peut avoir lieu à un certain moment dans une direction, tandis qu'il y a pénurie dans l'autre direction.

Les variations dans l'importance et la direction des transports ne permettent donc pas de tabler sur un tonnage kilométrique moyen, pour connaître l'importance des trains de marchandises sur lesquels il faut compter pour desservir la ligne dans les saisons où le trafic est le plus considérable.

Il en est d'ailleurs de même pour les voyageurs.

La distance moyenne de transport d'une tonne de marchandises sur une ligne, est bien rarement la distance qui sépare les deux extrémités de la ligne.

Il suffit d'une station intermédiaire pour que la distance moyenne de transport soit plus courte que la longueur totale de la ligne.

Généralement la distance moyenne de transport d'une tonne de marchandises sur un embranchement se rapproche beaucoup de la distance qui sépare la gare de jonction du centre de gravité des populations. (Déduction faite des transports dus aux usines.)

Il en est de même de la distance moyenne de parcours d'un voyageur.

Dans les lignes en embranchement la charge des trains dans la partie la plus rapprochée de la gare de jonction, est généralement plus forte qu'à l'autre extrémité.

Pour estimer la puissance des machines qu'il faut affecter à une ligne, et le poids des rails de cette ligne pour un trafic évalué à l'avance, il ne faut donc pas prendre, comme base de la charge maxima d'un train, le tonnage kilométrique moyen d'une année, divisé d'abord par 365 jours, puis divisé encore par le nombre des trains journaliers ; il ne faut pas même prendre le double ou moitié en plus de ce tonnage moyen pour tenir compte plus ou moins largement des variations dans l'importance du trafic, mais il faut encore faire entrer en ligne de compte la distance moyenne de transport de la tonne de marchandises.

Si alors dans le calcul on trouve que la charge moyenne des 4 ou 6 ou 8 trains que l'on veut établir est trop élevée, il faut compter sur des trains supplémentaires parcourant tout ou partie de la ligne et par suite sur un plus grand nombre de machines en service.

Un calcul semblable doit se faire pour les voyageurs.

C'est ainsi que l'on arrive par exemple pour un mouvement moyen de 50 tonnes par kilomètre et par jour à reconnaître, dans certains cas, que le départ et l'arrivée des marchandises peuvent s'élever ensemble à la gare de raccordement à 150 tonnes et même à 200 tonnes par jour à certaines époques. Ce qui constitue à ces moments une gare d'échange assez importante.

Devant les difficultés qu'il y a, pour un chemin de fer d'intérêt local, à savoir, à l'avance, quelles seront les allures du trafic, il vaut mieux toujours se résoudre à créer un chemin de fer capable d'un trafic supérieur aux prévisions que d'établir une ligne insuffisante, disproportionnée et impuissante.

La voie doit toujours être capable de supporter un trafic plus important que celui prévu à l'origine et les ouvrages d'art calculés pour des machines plus lourdes.

Il est sage d'admettre dans les prévisions d'établissement des chemins de fer d'intérêt local et surtout dans le calcul de la puissance et du poids des machines, que le poids des trains devra être compris entre 40 et 75 tonnes selon l'importance du trafic que l'on espère au bout de dix ou quinze ans, et de repousser d'une façon absolue l'hypothèse de trains de 8 tonnes, de 10 ou de 15 tonnes, poids mort compris, qui ne peuvent raisonnablement trouver leur emploi que dans des conditions toutes spéciales comme dans un chemin de fer très court desservant une usine ou dans le transport presque exclusif des voyageurs.

Le profil en long des rampes fictives, tenant compte de la vitesse des trains, des rampes réelles et des courbes, aidera à déterminer la puissance des machines et le poids des rails.

L'influence des pentes et rampes, celle des courbes sur le poids des trains et sur le poids des machines dans l'exploitation d'une ligne, sont telles que pour un petit chemin de fer, ni le profil en long, ni le tracé en plan ne devraient être arrêtés tant que le profil des rampes fictives n'aurait pas été établi de manière à se rendre compte des conditions de la traction sur toute la ligne.

Un profil des rampes fictives s'établit sur les grandes lignes de manière à classer les différentes parties de chaque ligne en sections, et à déterminer les charges correspondant aux puissances des diverses machines pour ces sections ; mais il est facile de comprendre qu'une petite ligne à faible trafic ne peut être utilement divisée en sections de quelques kilomètres chacune, pour être exploitées d'une façon différente ou par des machines de forces diverses.

Un mouvement moyen de 50 tonnes par kilomètre et par jour, à 12 centimes la tonne donne pour une année une recette kilométrique de 2,190 francs. Or, avec une distance moyenne de transport égale à la moitié du parcours total de la ligne, le mouvement réel journalier des marchandises s'élève à 100 tonnes en moyenne, et si les variations dans l'importance du trafic, d'une saison à l'autre, sont dans le rapport de 1 à 3, il faut compter à certaines époques sur une moyenne de 150 tonnes par jour (poids net).

Six trains de 25 tonnes, poids net, ou de 35 tonnes poids mort compris, ne tiendraient compte que des marchandises. En comptant la voiture à voyageurs pour 5 tonnes et le fourgon avec la messagerie pour autant, on arrive à 45 tonnes et comme enfin il peut ne pas y avoir par-

tage égal entre l'aller et le retour, il est évident, d'après cet exemple, qu'il serait sage pour les conditions indiquées de supposer la charge brute totale des trains élevée à 50 tonnes pour l'estimation de la puissance des locomotives.

Cinquante tonnes serait la charge maxima des trains à certaines époques, mais non la charge moyenne de toute l'année, seulement c'est la charge qui assurerait un service régulier, sans cependant tenir compte des accroissements de trafic autrement qu'en multipliant les trains.

Dans les mêmes conditions un mouvement de 25 tonnes par jour et par kilomètre peut occasionner à l'origine d'un embranchement un mouvement réel de 75 tonnes par jour, et ce mouvement nécessiterait 4 trains de 35 tonnes ou 6 trains de 25 à 27 tonnes, poids mort compris. Or un mouvement moyen de 25 tonnes de marchandises par jour correspond à une recette annuelle kilométrique de 1,095 francs. Si l'on ajoute la grande vitesse, la recette peut s'élever, selon les habitudes du pays, à 2,000 ou 2,500 francs par kilomètre.

C'est une bien faible recette que 2,000 francs par kilomètre, et cependant il serait peu rationnel de compter sur des trains de 12 ou 15 tonnes pour calculer les machines et la voie.

Il est rare d'ailleurs qu'on crée des chemins de fer avec l'espérance de les voir rester au taux de 2,000 francs de recette kilométrique, ce serait à peu près de l'argent perdu.

Si avec de pareilles conditions, c'est-à-dire, si avec les variations dans le trafic que nous avons indiquées et qui sont ordinaires, on peut même dire normales (sauf en ce qui concerne la distance moyenne de transport dont nous avons à dessein exagéré la faiblesse), on accepte sur les chemins de fer d'intérêt local des rampes de 6 et 7 centimètres, comme sur ces rampes les machines ne peuvent guère remorquer qu'un train dont le poids ne dépasse pas celui de la machine, on voit que l'adoption de ces rampes exagérées oblige à avoir des machines de 25, de 30 et de 40 tonnes et par conséquent à construire des chemins de fer très coûteux dont les recettes seraient cependant bien minimes.

En multipliant les trains, on arrive à les faire plus légers, à diminuer le poids des machines susceptibles de les remorquer, mais cette multiplicité de trains et de machines augmente les dépenses d'exploitation et oblige quand même à des dépenses importantes comme frais

d'établissement ; en tous cas elle a une limite que l'accroissement du trafic rapproche chaque année et, avec des lignes assez longues, il faudra alors abandonner l'exploitation en navette pour adopter le système des croisements de trains et même arriver au service de nuit.

L'économie des chemins de fer d'intérêt local à fortes pentes ou ceux établis entièrement sur les routes et chemins sans modification de profil pour les rampes exagérées, n'est donc pas évidente. Cette économie, pour les derniers, n'est réelle que dans les pays plats ou sur des routes à très faibles déclivités, et il faudrait ajouter sur des terrains très perméables et des chemins très larges. C'est donc une exception.

En général plus la ligne est longue et plus il y a de stations, moins alors la partie de la ligne la plus éloignée de la gare de jonction sera chargée de transports (à moins que la ligne ne se termine par un centre très important).

Les trains étant moins chargés sur cette partie de la ligne, les déclivités peuvent y être plus fortes que vers la gare de jonction où aboutit presque tout le trafic.

Les divers articles qui précèdent constituent le programme des études et des préoccupations qui, à notre avis, doivent présider à la rédaction des projets d'un chemin de fer d'intérêt local.

Encore doit-on toujours ne pas perdre de vue l'extension que le trafic pourrait prendre par suite de prolongements ou d'embranchements.

Chaque ligne nécessite une étude spéciale, tant sous le rapport des facilités de transport et d'embarquement à donner au commerce et à l'industrie, de l'emplacement des garages pour multiplier les points de contact du chemin de fer avec le pays, que sous le rapport des allures probables du trafic et des moyens de réduire au minimum les dépenses de construction et celles d'exploitation, tout en réservant l'avenir.

Il n'y a pas, il ne peut y avoir similitude dans le mode d'établissement de deux lignes de chemin de fer pour lesquelles l'ingénieur doit pousser l'économie aux dernières limites raisonnables.

2

APPLICATION
DE LA THÉORIE DES
SINUS DES ORDRES SUPÉRIEURS
A L'INTÉGRATION DES ÉQUATIONS LINÉAIRES;

PAR M. YVON VILLARCEAU.

En communiquant la présente Note à la Société des Ingénieurs civils, l'auteur ne se propose pas d'exposer des théories qui ont été développées dans les Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences (séances des 13, 20 et 27 mai 1878, 29 mars et 5 avril 1880), mais, seulement, de faire connaître comment l'étude de problèmes qui sont du ressort de l'ingénieur peut contribuer aux progrès de l'analyse mathématique, et de signaler les avantages que peut présenter l'emploi des *sinus des ordres supérieurs*, dans la résolution de questions où les méthodes en usage se montrent impuissantes. En renfermant dans ces limites, la présente communication, M. Yvon Villarceau croit répondre au désir que notre honorable Président a bien voulu lui exprimer tout récemment.

Dans ces conditions, il semble que le simple exposé des faits, accompagné des explications théoriques nécessaires à l'intelligence du sujet, offrira plus d'intérêt qu'une suite de développements analytiques qui ne trouveraient pas leur place dans une simple note.

Il y a vingt ou vingt-cinq ans, j'ai abordé une question importante pour les astronomes et les ingénieurs qui ont à faire des nivellements dans les pays montagneux, celle de la flexion verticale des lunettes, sous l'influence du poids des diverses parties dont elles se composent. Les deux

parties du tube, l'une supérieure, l'autre inférieure à l'axe de rotation, quand la lunette est dirigée obliquement à l'horizon, sont dans les conditions de solides encastrés et sollicités par les poids des diverses tranches en lesquelles on les partage et par des poids appliqués à leurs extrémités libres. Pour déterminer la figure que prend l'axe de la lunette sous l'action de ces forces, j'ai calculé les moments fléchissants en introduisant, dans les calculs, les coordonnées des centres de gravité des tranches correspondantes à la figure rectiligne de l'axe du tube; j'ai obtenu ainsi une première approximation de la courbe cherchée et j'ai calculé de nouveau les moments fléchissants, en tenant compte de la flexion approximativement déterminée; or, les résultats se sont trouvés très compliqués et je n'ai pu obtenir, que péniblement, la loi de la flexion astronomique en fonction de la distance zénithale.

Ayant eu l'occasion de revenir sur cette question et désirant présenter des résultats d'une exactitude appropriée aux exigences des usages astronomiques, j'ai cherché à éviter les approximations successives, en ayant recours aux méthodes directes. Voulant, avant tout, m'assurer si le problème n'avait pas été déjà résolu, j'ai consulté nos ouvrages français : j'ai trouvé dans Navier la solution du problème de la flexion d'un solide de section constante, soumis à l'action d'une force de direction quelconque, mais sans avoir égard au poids de ce solide; Poisson, dans son *Traité de mécanique*, résout le problème de la flexion d'un solide incliné, sous l'influence de son propre poids et d'une force parallèle à l'axe de figure de ce solide. Comme on le voit, ni l'une ni l'autre de ces solutions ne convenait au problème que j'avais en vue. Je formai dès lors l'équation différentielle, correspondante au cas de forces verticales, équation que j'ai pu ramener à la forme d'une équation linéaire du quatrième ordre, à coefficients constants.

L'équation dite *caractéristique*, correspondante à la précédente, se trouve avoir une racine nulle et trois autres racines distinctes: deux de celles-ci sont imaginaires et s'obtiennent en multipliant la racine réelle par les deux racines cubiques imaginaires de l'unité.

Qu'on me permette de reproduire ici les quelques lignes, dans lesquelles j'ai indiqué à l'Académie l'origine de la nouvelle méthode d'intégration des équations linéaires.

« Ayant effectué l'intégration par les méthodes en usage, qui conduisent à des combinaisons d'exponentielles avec des fonctions circu-

laires, j'ai été frappé de l'analogie de composition du résultat, avec les sinus du deuxième ordre (genre elliptique); il a suffi d'en grouper convenablement les termes épars, pour reconnaître qu'effectivement la solution se compose des trois fonctions de cet ordre, multipliées respectivement par autant de constantes. Ce fut pour moi un trait de lumière. »

Afin de ne pas rompre le fil des idées, je dois indiquer ici les principales propriétés des sinus des ordres supérieurs, sauf à revenir, en terminant, sur la manière dont ces fonctions s'introduisent nécessairement dans l'analyse mathématique.

Nous désignerons les divers sinus d'un même ordre, de la variable x, par les notations :

$$\varphi_0 x,\ \varphi_1 x,\ \varphi_2 x,\ \varphi_3 x \ldots,\ \varphi_{m-1} x.$$

Ces fonctions sont telles que la première, $\varphi_0 x$, est égale à l'unité quand la variable x ou l'argument est nul, tandis que toutes les autres s'annulent avec cette variable. L'ensemble de ces fonctions, au nombre de m, constitue les sinus de l'ordre $m-1$; néanmoins, à cause des propriétés qui viennent d'être indiquées, on peut réserver à la première, la dénomination de cosinus et affecter spécialement aux $m-1$ autres, celle de sinus. Ce nombre $m-1$ est l'ordre des sinus considérés : ainsi, dans le cas de $m=2$ ou de $m-1=1$, on n'a à considérer qu'un seul sinus proprement dit, et l'on se trouve en présence, soit des sinus ordinaires, soit des sinus hyperboliques, qui constituent le premier ordre de l'échelle générale des sinus.

Chaque *ordre* de sinus donne lieu à deux genres que l'on nomme : *genre hyperbolique* et *genre elliptique*.

Désignant par μ l'indice de φ ou le rang des sinus considérés, les dérivées différentielles de ces sinus, ont pour expression simple, quand l'indice μ est différent de zéro,

$$(1)\qquad \frac{d\varphi_\mu x}{dx} = \varphi_{\mu-1} x\ ;$$

quand μ est égal à zéro, ou lorsqu'il s'agit d'un cosinus, on a :

$$(2)\qquad \frac{d\varphi_0 x}{dx} = \pm\varphi_{m-1} x,$$

le signe supérieur se rapportant au genre hyperbolique et l'inférieur au genre elliptique.

De ces formules on déduit aisément le résultat que voici :

Si l'on effectue m différentiations de l'une des fonctions $\varphi_\mu x$, on aura, quel que soit l'indice μ,

(3) $$\frac{d^m \varphi_\mu x}{dx^m} = \pm \varphi_\mu x. \qquad \text{genre} \begin{cases} \text{hyperbolique.} \\ \text{elliptique.} \end{cases}$$

En d'autres termes, la m^e dérivée de l'un quelconque des sinus reproduit ce sinus, avec ou sans changement de signe, suivant le *genre* de sinus considéré.

Ces simples notions suffisent pour montrer comment l'application des sinus des ordres supérieurs se prête de la manière la plus simple, à l'intégration de l'équation linéaire d'un ordre quelconque, réductible à la forme binôme.

En effet, considérons, par exemple, l'équation du deuxième ordre

$$\frac{d^2\eta}{dx^2} + r^2\eta = 0,$$

dont l'intégrale s'obtient, comme on le sait, à l'aide des sinus ordinaires, sous la forme

$$\eta = c_0 \cos. rx + c_1 \sin. rx :$$

cette solution repose sur les relations suivantes :

$$\frac{d^2 \cos. rx}{dx^2} = -r^2 \cos. rx, \qquad \frac{d^2 \sin. rx}{-dx^2} = -r^2 \sin. rx.$$

Notons que si, dans l'équation proposée, le terme $r^2\eta$ était précédé du signe —, on obtiendrait l'intégrale cherchée, en substituant les cosinus et sinus hyperboliques aux cosinus et sinus ordinaires.

Soit actuellement à intégrer l'équation d'ordre m

(4) $$\frac{d^m\eta}{dx^m} \pm r^m\eta = 0,$$

où r est une constante égale à la racine $m^{ème}$ du coefficient de η : il résulte assez évidemment de la relation (3), que l'intégrale de cette équation est

(5) $$\eta = c_0 \varphi_0 rx + c_1 \varphi_1 rx + c_2 \varphi_2 rx + \ldots + c_{m-1} \varphi_{m-1} rx.$$

On peut vérifier qu'effectivement cette solution satisfait à l'équation proposée ; elle contient d'ailleurs les constantes c_μ en nombre égal à l'ordre de celle-ci.

Les avantages de la solution que nous venons de présenter sont considérables. En premier lieu, il arrive que la détermination des constantes c_μ dépend de relations entre les fonctions η et leurs dérivées, relations qui, le plus souvent, s'expriment par des équations du premier degré. Or, on observera que les dérivées de la fonction η s'obtiendront par un simple changement d'indice des fonctions $\varphi_\mu rx$, suivant les formules (1) et (2), et l'addition du facteur r, à chaque différentiation ; le nombre des termes restera le même pendant le cours des différentiations : la détermination des constantes se réduira donc à la résolution d'équations très faciles à former et à résoudre.

Si, au lieu de procéder comme nous venons de le faire, nous avions, suivant les méthodes usuelles, formé l'équation *caractéristique*, il nous eût fallu déterminer les m racines, tant réelles qu'imaginaires, de l'unité, et grouper les exponentielles imaginaires de manière à les transformer en produits d'exponentielles à exposants réels par des fonctions trigonométriques. La présente solution dispense de tout calcul relatif à ces transformations. Enfin, la solution obtenue par les méthodes usuelles comprendrait un nombre, croissant avec l'ordre m, de termes formés par des produits d'exponentielles réelles et de fonctions trigonométriques, lesquels donneraient naissance, lors des différentiations successives, à des nombres de termes croissant avec celui des différentiations et exigeraient, chaque fois, d'opérer avec soin les réductions qui peuvent résulter de calculs déjà effectués. Notre solution du problème supprime tous ces embarras, auxquels on n'échapperait qu'en partie, en conservant, dans le cours des différentiations et éliminations, les termes d'une solution mise sous la forme d'exponentielles imaginaires ; car les complications se reproduiraient finalement, lorsqu'il s'agirait de transformer les résultats en expressions dégagées de tout signe d'imaginarité.

Les résultats seraient certainement identiques avec ceux que fournit l'emploi des sinus des ordres supérieurs ; mais il serait difficile, et souvent impraticable, de les reconstituer, dans une solution ainsi obtenue et qui en offrirait les éléments, dans un état de confusion extrême. Or, il y a, suivant nous, une très grande importance à ne pas *démembrer* les fonctions $\varphi_\mu rx$. C'est qu'en effet, les lois qui les régissent permettent

d'opérer, dans leurs combinaisons, des réductions analogues à celles auxquelles donne lieu l'emploi des sinus du premier ordre. Quant aux calculs numériques, si l'on ne possède pas encore de tables des fonctions $\varphi_\mu x$, on a du moins leurs expressions sous forme finie, au moyen d'exponentielles et de fonctions hyperboliques ou circulaires.

Nous reviendrons dans un instant sur un cas particulier et néanmoins très fréquent, où l'argument rx reste égal à une petite fraction et peut s'exprimer à l'aide de séries très convergentes. Le cas dont il s'agit s'est précisément rencontré dans l'étude de la flexion des tubes de lunettes : il est vraisemblable que le même cas doit se présenter souvent, comme il arrive, avec les sinus de premier ordre, dans leurs applications de toute nature.

Les sinus des ordres supérieurs permettent encore de résoudre très simplement l'équation linéaire

$$(6) \qquad \frac{d^k y}{dx^k} \pm p \frac{d^h y}{dx^h} + q = \mathrm{V},$$

où p désigne une constante positive, q une autre constante de signe quelconque, et V une fonction explicite de x : h est un nombre entier moindre que μ, et qui peut être égal à zéro, auquel cas le deuxième terme du premier membre se réduit $\pm p\,y$. Nous renverrons pour l'intégration, au Mémoire imprimé qui a été présenté à la Société.

La théorie qu'on vient d'exposer, se base sur les propriétés (1) et (2) des fonctions $\varphi_\mu x$. Il nous reste à indiquer l'origine de ces fonctions, telle qu'elle s'est manifestée, à la suite de questions de mathématiques appliquées : les propriétés que nous avons utilisées, dans le problème de l'intégration des équations linéaires réductibles à la forme binôme, découleront immédiatement des développements en séries de nos fonctions $\varphi_\mu x$.

Nommé en 1876, membre d'une commission chargée d'examiner les modifications à apporter à l'enseignement de l'École navale, j'insistai pour qu'on fît une part suffisante à l'étude des fonctions hyperboliques, qui se prêtent, de la manière la plus simple, à la formation de l'équation des *courbes* dites *de hauteur*, et qui sont aussi d'une application extrê-

On peut vérifier qu'effectivement cette solution satisfait à l'équation proposée ; elle contient d'ailleurs les constantes c_μ en nombre égal à l'ordre de celle-ci.

Les avantages de la solution que nous venons de présenter sont considérables. En premier lieu, il arrive que la détermination des constantes c_μ dépend de relations entre les fonctions η et leurs dérivées, relations qui, le plus souvent, s'expriment par des équations du premier degré. Or, on observera que les dérivées de la fonction η s'obtiendront par un simple changement d'indice des fonctions $\varphi_\mu rx$, suivant les formules (1) et (2), et l'addition du facteur r, à chaque différentiation ; le nombre des termes restera le même pendant le cours des différentiations : la détermination des constantes se réduira donc à la résolution d'équations très faciles à former et à résoudre.

Si, au lieu de procéder comme nous venons de le faire, nous avions, suivant les méthodes usuelles, formé l'équation *caractéristique*, il nous eût fallu déterminer les m racines, tant réelles qu'imaginaires, de l'unité, et grouper les exponentielles imaginaires de manière à les transformer en produits d'exponentielles à exposants réels par des fonctions trigonométriques. La présente solution dispense de tout calcul relatif à ces transformations. Enfin, la solution obtenue par les méthodes usuelles comprendrait un nombre, croissant avec l'ordre m, de termes formés par des produits d'exponentielles réelles et de fonctions trigonométriques, lesquels donneraient naissance, lors des différentiations successives, à des nombres de termes croissant avec celui des différentiations et exigeraient, chaque fois, d'opérer avec soin les réductions qui peuvent résulter de calculs déjà effectués. Notre solution du problème supprime tous ces embarras, auxquels on n'échapperait qu'en partie, en conservant, dans le cours des différentiations et éliminations, les termes d'une solution mise sous la forme d'exponentielles imaginaires ; car les complications se reproduiraient finalement, lorsqu'il s'agirait de transformer les résultats en expressions dégagées de tout signe d'imaginarité.

Les résultats seraient certainement identiques avec ceux que fournit l'emploi des sinus des ordres supérieurs ; mais il serait difficile, et souvent impraticable, de les reconstituer, dans une solution ainsi obtenue et qui en offrirait les éléments, dans un état de confusion extrême. Or, il y a, suivant nous, une très grande importance à ne pas *démembrer* les fonctions $\varphi_\mu rx$. C'est qu'en effet, les lois qui les régissent permettent

d'opérer, dans leurs combinaisons, des réductions analogues à celles auxquelles donne lieu l'emploi des sinus du premier ordre. Quant aux calculs numériques, si l'on ne possède pas encore de tables des fonctions $\varphi_\mu x$, on a du moins leurs expressions sous forme finie, au moyen d'exponentielles et de fonctions hyperboliques ou circulaires.

Nous reviendrons dans un instant sur un cas particulier et néanmoins très fréquent, où l'argument rx reste égal à une petite fraction et peut s'exprimer à l'aide de séries très convergentes. Le cas dont il s'agit s'est précisément rencontré dans l'étude de la flexion des tubes de lunettes : il est vraisemblable que le même cas doit se présenter souvent, comme il arrive, avec les sinus de premier ordre, dans leurs applications de toute nature.

Les sinus des ordres supérieurs permettent encore de résoudre très simplement l'équation linéaire

$$(6) \qquad \frac{d^k y}{dx^k} \pm p \frac{d^h y}{dx^h} + q = \mathrm{V},$$

où p désigne une constante positive, q une autre constante de signe quelconque, et V une fonction explicite de x : h est un nombre entier moindre que μ, et qui peut être égal à zéro, auquel cas le deuxième terme du premier membre se réduit $\pm p\, y$. Nous renverrons pour l'intégration, au Mémoire imprimé qui a été présenté à la Société.

La théorie qu'on vient d'exposer, se base sur les propriétés (1) et (2) des fonctions $\varphi_\mu x$. Il nous reste à indiquer l'origine de ces fonctions, telle qu'elle s'est manifestée, à la suite de questions de mathématiques appliquées : les propriétés que nous avons utilisées, dans le problème de l'intégration des équations linéaires réductibles à la forme binôme, découleront immédiatement des développements en séries de nos fonctions $\varphi_\mu x$.

Nommé en 1876, membre d'une commission chargée d'examiner les modifications à apporter à l'enseignement de l'École navale, j'insistai pour qu'on fit une part suffisante à l'étude des fonctions hyperboliques, qui se prêtent, de la manière la plus simple, à la formation de l'équation des *courbes* dites *de hauteur*, et qui sont aussi d'une application extrê-

On peut vérifier qu'effectivement cette solution satisfait à l'équation proposée ; elle contient d'ailleurs les constantes c_μ en nombre égal à l'ordre de celle-ci.

Les avantages de la solution que nous venons de présenter sont considérables. En premier lieu, il arrive que la détermination des constantes c_μ dépend de relations entre les fonctions η et leurs dérivées, relations qui, le plus souvent, s'expriment par des équations du premier degré. Or, on observera que les dérivées de la fonction η s'obtiendront par un simple changement d'indice des fonctions $\varphi_\mu rx$, suivant les formules (1) et (2), et l'addition du facteur r, à chaque différentiation ; le nombre des termes restera le même pendant le cours des différentiations : la détermination des constantes se réduira donc à la résolution d'équations très faciles à former et à résoudre.

Si, au lieu de procéder comme nous venons de le faire, nous avions, suivant les méthodes usuelles, formé l'équation *caractéristique*, il nous eût fallu déterminer les m racines, tant réelles qu'imaginaires, de l'unité, et grouper les exponentielles imaginaires de manière à les transformer en produits d'exponentielles à exposants réels par des fonctions trigonométriques. La présente solution dispense de tout calcul relatif à ces transformations. Enfin, la solution obtenue par les méthodes usuelles comprendrait un nombre, croissant avec l'ordre m, de termes formés par des produits d'exponentielles réelles et de fonctions trigonométriques, lesquels donneraient naissance, lors des différentiations successives, à des nombres de termes croissant avec celui des différentiations et exigeraient, chaque fois, d'opérer avec soin les réductions qui peuvent résulter de calculs déjà effectués. Notre solution du problème supprime tous ces embarras, auxquels on n'échapperait qu'en partie, en conservant, dans le cours des différentiations et éliminations, les termes d'une solution mise sous la forme d'exponentielles imaginaires ; car les complications se reproduiraient finalement, lorsqu'il s'agirait de transformer les résultats en expressions dégagées de tout signe d'imaginarité.

Les résultats seraient certainement identiques avec ceux que fournit l'emploi des sinus des ordres supérieurs ; mais il serait difficile, et souvent impraticable, de les reconstituer, dans une solution ainsi obtenue et qui en offrirait les éléments, dans un état de confusion extrême. Or, il y a, suivant nous, une très grande importance à ne pas *démembrer* les fonctions $\varphi_\mu rx$. C'est qu'en effet, les lois qui les régissent permettent

d'opérer, dans leurs combinaisons, des réductions analogues à celles auxquelles donne lieu l'emploi des sinus du premier ordre. Quant aux calculs numériques, si l'on ne possède pas encore de tables des fonctions $\varphi_\mu x$, on a du moins leurs expressions sous forme finie, au moyen d'exponentielles et de fonctions hyperboliques ou circulaires.

Nous reviendrons dans un instant sur un cas particulier et néanmoins très fréquent, où l'argument rx reste égal à une petite fraction et peut s'exprimer à l'aide de séries très convergentes. Le cas dont il s'agit s'est précisément rencontré dans l'étude de la flexion des tubes de lunettes : il est vraisemblable que le même cas doit se présenter souvent, comme il arrive, avec les sinus de premier ordre, dans leurs applications de toute nature.

Les sinus des ordres supérieurs permettent encore de résoudre très simplement l'équation linéaire

$$(6) \qquad \frac{d^k y}{dx^k} \pm p \frac{d^h y}{dx^h} + q = \mathrm{V},$$

où p désigne une constante positive, q une autre constante de signe quelconque, et V une fonction explicite de x : h est un nombre entier moindre que μ, et qui peut être égal à zéro, auquel cas le deuxième terme du premier membre se réduit $\pm p\,y$. Nous renverrons pour l'intégration, au Mémoire imprimé qui a été présenté à la Société.

La théorie qu'on vient d'exposer, se base sur les propriétés (1) et (2) des fonctions $\varphi_\mu x$. Il nous reste à indiquer l'origine de ces fonctions, telle qu'elle s'est manifestée, à la suite de questions de mathématiques appliquées : les propriétés que nous avons utilisées, dans le problème de l'intégration des équations linéaires réductibles à la forme binôme, découleront immédiatement des développements en séries de nos fonctions $\varphi_\mu x$.

Nommé en 1876, membre d'une commission chargée d'examiner les modifications à apporter à l'enseignement de l'École navale, j'insistai pour qu'on fît une part suffisante à l'étude des fonctions hyperboliques, qui se prêtent, de la manière la plus simple, à la formation de l'équation des *courbes* dites *de hauteur*, et qui sont aussi d'une application extrê-

On peut vérifier qu'effectivement cette solution satisfait à l'équation proposée ; elle contient d'ailleurs les constantes c_μ en nombre égal à l'ordre de celle-ci.

Les avantages de la solution que nous venons de présenter sont considérables. En premier lieu, il arrive que la détermination des constantes c_μ dépend de relations entre les fonctions η et leurs dérivées, relations qui, le plus souvent, s'expriment par des équations du premier degré. Or, on observera que les dérivées de la fonction η s'obtiendront par un simple changement d'indice des fonctions $\varphi_\mu rx$, suivant les formules (1) et (2), et l'addition du facteur r, à chaque différentiation ; le nombre des termes restera le même pendant le cours des différentiations : la détermination des constantes se réduira donc à la résolution d'équations très faciles à former et à résoudre.

Si, au lieu de procéder comme nous venons de le faire, nous avions, suivant les méthodes usuelles, formé l'équation *caractéristique*, il nous eût fallu déterminer les m racines, tant réelles qu'imaginaires, de l'unité, et grouper les exponentielles imaginaires de manière à les transformer en produits d'exponentielles à exposants réels par des fonctions trigonométriques. La présente solution dispense de tout calcul relatif à ces transformations. Enfin, la solution obtenue par les méthodes usuelles comprendrait un nombre, croissant avec l'ordre m, de termes formés par des produits d'exponentielles réelles et de fonctions trigonométriques, lesquels donneraient naissance, lors des différentiations successives, à des nombres de termes croissant avec celui des différentiations et exigeraient, chaque fois, d'opérer avec soin les réductions qui peuvent résulter de calculs déjà effectués. Notre solution du problème supprime tous ces embarras, auxquels on n'échapperait qu'en partie, en conservant, dans le cours des différentiations et éliminations, les termes d'une solution mise sous la forme d'exponentielles imaginaires ; car les complications se reproduiraient finalement, lorsqu'il s'agirait de transformer les résultats en expressions dégagées de tout signe d'imaginarité.

Les résultats seraient certainement identiques avec ceux que fournit l'emploi des sinus des ordres supérieurs ; mais il serait difficile, et souvent impraticable, de les reconstituer, dans une solution ainsi obtenue et qui en offrirait les éléments, dans un état de confusion extrême. Or, il y a, suivant nous, une très grande importance à ne pas *démembrer* les fonctions $\varphi_\mu rx$. C'est qu'en effet, les lois qui les régissent permettent

d'opérer, dans leurs combinaisons, des réductions analogues à celles auxquelles donne lieu l'emploi des sinus du premier ordre. Quant aux calculs numériques, si l'on ne possède pas encore de tables des fonctions $\varphi_\mu x$, on a du moins leurs expressions sous forme finie, au moyen d'exponentielles et de fonctions hyperboliques ou circulaires.

Nous reviendrons dans un instant sur un cas particulier et néanmoins très fréquent, où l'argument rx reste égal à une petite fraction et peut s'exprimer à l'aide de séries très convergentes. Le cas dont il s'agit s'est précisément rencontré dans l'étude de la flexion des tubes de lunettes : il est vraisemblable que le même cas doit se présenter souvent, comme il arrive, avec les sinus de premier ordre, dans leurs applications de toute nature.

Les sinus des ordres supérieurs permettent encore de résoudre très simplement l'équation linéaire

$$(6)\qquad \frac{d^k y}{dx^k} \pm p\,\frac{d^h y}{dx^h} + q = \mathrm{V},$$

où p désigne une constante positive, q une autre constante de signe quelconque, et V une fonction explicite de x : h est un nombre entier moindre que μ, et qui peut être égal à zéro, auquel cas le deuxième terme du premier membre se réduit $\pm p\,y$. Nous renverrons pour l'intégration, au Mémoire imprimé qui a été présenté à la Société.

La théorie qu'on vient d'exposer, se base sur les propriétés (1) et (2) des fonctions $\varphi_\mu x$. Il nous reste à indiquer l'origine de ces fonctions, telle qu'elle s'est manifestée, à la suite de questions de mathématiques appliquées : les propriétés que nous avons utilisées, dans le problème de l'intégration des équations linéaires réductibles à la forme binôme, découleront immédiatement des développements en séries de nos fonctions $\varphi_\mu\, x$.

Nommé en 1876, membre d'une commission chargée d'examiner les modifications à apporter à l'enseignement de l'École navale, j'insistai pour qu'on fit une part suffisante à l'étude des fonctions hyperboliques, qui se prêtent, de la manière la plus simple, à la formation de l'équation des *courbes* dites *de hauteur*, et qui sont aussi d'une application extrê-

mement commode, dans la théorie de la résistance des matériaux. Je fus alors invité à rédiger une théorie sommaire des fonctions hyperboliques, qui fut communiquée aux professeurs de ladite École.

Dans ma pensée, il importait de rattacher les fonctions hyperboliques à la même origine analytique que les fonctions circulaires.

Après avoir démontré la propriété fondamentale de l'exponentielle a^{mx}, où la constante m est quelconque, j'ai dû donner à m la forme la plus générale, en posant

$$m = p + q\sqrt{-1};$$

en sorte que j'ai eu à étudier l'exponentielle

$$(7) \qquad a^{(p+q\sqrt{-1})x} = a^{px} . a^{qx\sqrt{-1}},$$

qui se trouve ainsi être formée du produit de deux exponentielles, l'une à exposant réel, l'autre à exposant imaginaire.

De là résultait la nécessité d'étudier séparément les deux exponentielles a^{px} et $a^{qx\sqrt{-1}}$, lesquelles, moyennant un changement de variable, peuvent être remplacées par $e^{x'}$ et $e^{x''\sqrt{-1}}$, ou en supprimant les accents, e^x et $e^{x\sqrt{-1}}$.

La considération de l'exponentielle e^x a suffi pour développer la théorie des sinus et cosinus hyperboliques; celle de l'exponentielle $e^{x\sqrt{-1}}$ a fourni parallèlement la théorie des sinus et cosinus ordinaires. Je ne poursuivis pas plus loin cette étude, qui suffisait à l'objet que j'avais en vue, la théorie des fonctions hyperboliques.

Plus tard, j'eus l'idée de réunir les deux exponentielles que j'avais examinées isolément ou d'étudier, de plus près, l'exponentielle

$$a^{mx} = e^{x'} e^{x''\sqrt{-1}}:$$

je trouvai alors que l'exponentielle considérée peut, moyennant un changement de variable, se mettre sous la forme suivante

$$(8) \qquad e^{bx} = \varphi_0 x + b\varphi_1 x + b^2 \varphi_2 x + b^3 \varphi_3 x + \ldots b^{m-1} \varphi_{m-1} x,$$

où la constante b désigne l'une des racines $m^{\text{ièmes}}$ de l'unité positive ou négative, suivant les cas, et m est un nombre entier qui dépend du rapport $\frac{q}{p}$. Les fonctions $\varphi\ x$ représentent les séries que voici :

$$\begin{aligned}
\varphi_0 x &= 1 \pm \frac{x^m}{1.2.3\ldots(m)} + \frac{x^{2m}}{1.2.3\ldots(2m)} \pm \frac{x^{3m}}{1.2.3\ldots(3m)} + \ldots \\
\varphi_1 x &= \frac{x}{1} \pm \frac{x^{m+1}}{1.2.3\ldots(m+1)} + \frac{x^{2m+1}}{1.2.3\ldots(2m+1)} \pm \frac{x^{3m+1}}{1.2.3\ldots(3m+1)} + \ldots \\
\varphi_2 x &= \frac{x^2}{1.2} \pm \frac{x^{m+2}}{1.2.3\ldots(m+2)} + \frac{x^{2m+2}}{1.2.3\ldots(2m+2)} \pm \frac{x^{3m+2}}{1.2.3\ldots(3m+2)} + \ldots \\
\varphi_3 x &= \frac{x^3}{1.2.3} \pm \frac{x^{m+3}}{1.2.3\ldots(m+3)} + \frac{x^{2m+3}}{1.2.3\ldots(2m+3)} \pm \frac{x^{3m+3}}{1.2.3\ldots(3m+3)} + \ldots \\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\
\varphi_{m-1} x &= \frac{x^{m-1}}{1.2.3\ldots(m-1)} \pm \frac{x^{2m-1}}{1.2.3\ldots(2m-1)} + \frac{x^{3m-1}}{1.2.3\ldots(3m-1)} \pm \frac{x^{4m-1}}{1.2.3\ldots(4m-1)} + \ldots,
\end{aligned}$$

dans lesquelles les signes supérieurs correspondent à $b = \sqrt[m]{+1}$ ou au *genre hyperbolique*, et les inférieurs à $b = \sqrt[m]{-1}$ ou au *genre elliptique*.

Les fonctions $\varphi_\mu x$ sont précisément celles que nous avons désignées sous le nom de *sinus des ordres supérieurs*.

Si l'on y fait $m = 2$, cette suite de fonctions se réduit aux deux premières, qui s'identifient avec un cosinus et un sinus, l'un et l'autre hyperboliques ou circulaires, suivant qu'on y considère les signes supérieurs ou inférieurs.

Dans tous les cas, on a $\varphi_0(0) = 1$, tandis que les autres sinus s'annulent, pour $x = 0$.

Il suffit de jeter un coup d'œil sur les séries (9), pour constater que la loi de différentiation des fonctions, $\varphi_0 x \ldots, \varphi_\mu x$ est bien celle qu'expriment les relations (1) et (2).

On peut maintenant vérifier que les séries (9) sont très convergentes quand la variable x est une petite fraction. En effet, les exposants de x et le nombre des facteurs qui forment les dénominateurs, dans les différents termes, croissent de m unités, dans le passage de l'un des termes au suivant, tandis que dans les sinus du premier ordre, ce nombre croît seulement de 2 unités; il croît de 3 dans les sinus du deuxième ordre, de 4 dans les sinus du troisième ordre, et ainsi de suite.

Les sinus des ordres supérieurs que nous venons de former, se présentent comme une conséquence *nécessaire* de l'étude de l'exponen-

tielle a^{ms} : il est remarquable que nous y soyons parvenus, à l'occasion de problèmes concernant l'Astronomie nautique. Hâtons-nous, d'ailleurs, de faire connaître que leur existence a été signalée, pour la première fois, par Hoëné Wronski, il y a plus de soixante ans. Ce géomètre a fait la découverte des fonctions qui nous occupent, en se basant sur des principes philosophiques qui lui sont propres et que, malheureusement, il n'a pas réussi à faire comprendre de ses contemporains.

C'est là, ce nous semble, la cause de la défaveur qui pèse encore sur les productions scientifiques de Wronski, malgré l'accueil éloquent, fait à sa *loi suprême*, par Lagrange et Lacroix, dans un rapport lu à la séance du 15 octobre 1810, de l'Académie des sciences. On lit dans ce rapport :

« Ce qui a frappé vos commissaires, dans le Mémoire de M. Wronski, c'est qu'il tire de sa formule toutes celles que l'on connaît pour le développement des fonctions (c'est-à-dire toutes les mathématiques modernes) et qu'elles n'en sont que des cas très particuliers. »

Je suis heureux qu'une occasion m'ait été fournie de mettre en évidence la grande utilité de l'une des nombreuses découvertes mathématiques du savant que deux des plus grands géomètres du commencement de ce siècle avaient su apprécier, comme il convenait à leur époque.

Voici en quels termes j'ai caractérisé devant l'Académie, la première application qui ait été publiée des nouvelles fonctions :

« Pour peu qu'on y réfléchisse, on reconnaîtra que les *sinus des divers ordres* offrent la solution la plus simple (je dirais la plus naturelle, si une telle expression était admise dans le langage mathématique) des équations différentielles réductibles à la forme d'équations binômes à coefficients constants, avec ou sans seconds membres qui soient uniquement fonctions de la variable indépendante. Leur emploi, dans ces équations, les place sur un terrain qui leur appartient en propre, et dont on ne saurait les bannir, sans amener des complications, non seulement inutiles, mais nuisibles à la mise en évidence des propriétés caractéristiques des inconnues, dans la solution finale des problèmes que l'on se propose de résoudre.

« Nous limiterons à ce qui précède nos études sur l'intégration des équations linéaires, notre but principal étant d'attirer l'attention des géomètres sur les ressources qu'ils pourront tirer de l'introduction des

sinus des ordres supérieurs dans l'analyse mathématique, et de les engager à poursuivre un travail que nous laissons à l'état d'ébauche, bien convaincu que les nouvelles fonctions trouveront, entre leurs mains, de nombreuses applications aux questions de mécanique et de physique mathématique, qui conduisent à des équations différentielles intraitables dans l'état actuel de l'analyse mathématique. Sans être en état d'en garantir l'exactitude, nous pouvons rappeler que l'auteur de la découverte des sinus des ordres supérieurs affirme avoir fondé, sur leur emploi, l'une des deux méthodes générales d'intégration qu'il a proposées; il a signalé, du reste, l'impuissance des méthodes basées sur le simple usage des fonctions trigonométriques et des développements en séries, pour représenter les phénomènes qui offrent à la fois le caractère de progressivité et de périodicité, quand les variables excèdent les limites, où les séries cessent d'être suffisamment convergentes. L'introduction des sinus des ordres supérieurs semblerait devoir faire disparaître cet inconvénient, puisque ces fonctions jouissent du double caractère qui manque aux fonctions le plus généralement en usage, dans la Mécanique céleste, par exemple.

« L'emploi des fonctions elliptiques, récemment introduit dans le domaine de l'Astronomie par M. Hugo Gyldén, est certainement un progrès dans la direction que nous indiquons; mais l'insuffisance de ces fonctions nous semble déjà accusée par la nécessité où s'est trouvé cet astronome, de fragmenter les orbites des corps célestes. Nous regrettons de ne pouvoir renvoyer aux Ouvrages de Wronski, attendu qu'ils sont à peu près inintelligibles pour ceux qui n'ont pas entre les mains l'ensemble des publications antérieures à celle qui contient l'objet dont on veut s'occuper et que ces ouvrages n'existent, au complet, dans aucune de nos bibliothèques : celle de l'Académie des sciences en possède à peine deux volumes, faible contingent d'une collection très nombreuse. »

Tel est, pour l'instant, l'état de la science mathématique, en ce qui concerne les sinus des ordres supérieurs et leurs applications : cet état nous met en présence de deux désidérata sur lesquels il nous reste à donner quelques explications.

1° Les nouveaux sinus ne seront effectivement utiles dans la pratique, en dehors du cas particulier des faibles arguments, que si l'on en publie des tables numériques. Tout indique, et c'est d'ailleurs l'opinion

de leur inventeur, qu'il suffira, pendant bien longtemps, de calculer des tables pour les sinus du deuxième et du troisième ordre. Je me suis occupé de cette question et j'ai développé une méthode générale, pour le calcul des sinus d'un ordre quelconque. Cette méthode est d'une simplicité remarquable, elle repose sur le calcul des différences secondes, différences dont l'expression se forme en multipliant les sinus déjà calculés, par des constantes que l'on réduit en tables de multiplication. Quant aux sinus qui servent de point de départ, on en connaît la valeur pour l'argument zéro, et si la différence tubulaire Δx des arguments ne dépasse pas l'unité, on calcule les sinus de l'argument Δx au moyen des séries (9), ce qui suffit pour continuer les calculs au moyen des secondes différences. J'ai fait l'application de cette méthode aux sinus des deuxième et troisième ordres et j'ai construit des tables, pour les arguments $-15, -14, \ldots -1, 0, +1, \ldots +14, +15$, avec douze décimales exactes. Tous ces nombres sont vérifiés et peuvent servir de canevas à d'autres tables plus étendues, où l'argument x varierait de dixième en dixième, puis de centième en centième, et, finalement, de millième en millième.

Le travail à effectuer pourrait être confié à un calculateur ne sachant faire que des additions ; la question se trouve, dès à présent, réduite à une question de dépense en argent. Or, aujourd'hui que nous voyons de riches capitalistes doter nos établissements scientifiques d'un matériel considérable, ne pouvons-nous pas concevoir l'espérance d'en rencontrer qui soient disposés à subvenir aux dépenses des travaux de calcul, sans lesquels les plus belles observations resteraient stériles, au point de vue des progrès de la science générale !

2° En attendant que les géomètres aient fait fructifier l'œuvre de Wronski ; n'y aurait-il pas lieu de chercher à utiliser les indications qui peuvent se trouver dans les ouvrages publiés, de ce géomètre, et ceux, plus nombreux encore, qui sont restés à l'état de manuscrit ?

J'ai, sous ce rapport, une bonne nouvelle à communiquer à la Société :

L'un de nos jeunes confrères a entrepris l'étude des méthodes de Wronski et a réussi à les comprendre. J'espère que, d'ici à quelques mois, nous verrons paraître les premiers résultats de cette étude, dans l'un de nos principaux recueils de mathématiques, et que la publication s'y poursuivra sans interruption.

Je regrette seulement de ne pouvoir nommer le jeune confrère qui désire garder l'anonyme ; car la plupart d'entre nous ne manqueraient pas de le féliciter d'avoir entrepris une tâche très importante et de le soutenir de leurs encouragements.

Il ne s'agirait, en effet, de rien moins que d'ouvrir une nouvelle ère à la science mathématique et à ses applications.

P. S. — Je suis heureux, au moment où s'imprime cette note, de faire connaître à la Société, qu'une première réponse a été faite à mon appel aux géomètres, par un jeune savant : M. Jules Farkas.

Le compte rendu de l'Académie des sciences (séance du 28 juin), contient la solution explicite d'une équation linéaire d'ordre $m\ n$, pour le cas $n = 2$, obtenue par M. J. Farkas, au moyen des sinus de l'ordre $m - 1$. J'ai donné moi-même, dans la séance du 5 juillet, la solution de la même équation, pour toute valeur de n, solution entièrement conforme à celle que M. J. Farkas m'adressait quelques jours après.

Dans une autre communication, ce géomètre démontre les règles relatives à l'extension des indices hors de leurs limites zéro et $m - 1$, extension dont je lui avais signalé l'opportunité. Y. V.

NOUVELLES MÉTHODES

D'ANALYSE VOLUMÉTRIQUE

pour le dosage rapide

DE L'ARGENT, DU MERCURE ET DE L'AZOTE

PAR M. PAUL CHARPENTIER.

CONSIDÉRATIONS PRÉLIMINAIRES.

Dans la séance du 1er juillet 1870 j'ai eu l'honneur de communiquer à la Société les recherches que j'avais faites sur l'emploi des sulfocyanures alcalins dans l'analyse quantitative du fer, des alcalis et acides minéraux. J'ai établi ainsi les diverses méthodes volumétriques que j'avais trouvées pour ces différents dosages.

En général l'emploi des méthodes volumétriques a le très grand avantage de permettre de faire des analyses quantitatives avec une rigueur, une exactitude au moins égales souvent à celles que l'on obtient par l'usage de la balance, et surtout d'abréger ces analyses en remplaçant par un travail de quelques minutes les longues heures dépensées à des pesées fastidieuses. C'est à ce point de vue surtout que l'emploi de ces méthodes intéresse l'ingénieur et l'industriel.

Aujourd'hui, je me propose de vous entretenir de la facilité avec laquelle on peut sinon généraliser l'emploi de ces méthodes, du moins accroître le nombre de leurs applications. Je suis parvenu ainsi en me fondant toujours sur la même réaction à établir de nouvelles méthodes de dosage volumétrique pour l'argent, le mercure et l'azote, ce qui porte à six le nombre de ces méthodes basées sur le même principe, si on y comprend celles que j'ai exposées il y a dix ans.

Nous rappellerons d'abord, en quelques mots, la réaction fondamentale sur laquelle reposent ces diverses méthodes.

Nous savons que, si dans une dissolution d'un sel de sesquioxyde de

fer, nous versons quelques gouttes d'un sulfocyanure ou rhodanure alcalin, même très étendu, nous voyons apparaître, non pas un précipité, mais une coloration rouge sang très intense qui décèle les moindres traces de fer. On peut arriver ainsi à révéler dans une liqueur la présence de $\frac{1}{3,000,000}$ de ce métal. Si nous supposons que nous opérions sur du sesquichlorure de fer avec du sulfocyanure de potassium la réaction se formulera ainsi :

$$6\,K\,C^2\,Az\,S^2 + 2\,Fe^2\,Cl^3 = 2\,[Fe^2\,(C^2\,Az\,S^2)^3] + 6\,K\,Cl,$$

formule qui devient avec la notation atomique,

$$6\,K\,C\,Az\,S + Fe^2\,Cl^6 = Fe^2\,(C\,Az\,S)^6 + 6\,K\,Cl.$$

C'est le sesquisulfocyanure de fer,

$$2\,[Fe^2\,(C^2\,Az\,S^2)^3] \quad \text{ou} \quad Fe^2\,(C\,Az\,S)^6,$$

qui colore la liqueur en rouge sang.

Si nous versons alors dans cette liqueur rouge un alcali caustique, de la potasse par exemple, nous verrons la couleur disparaître pour faire place à un précipité de sesquioxyde de fer ; la réaction se formule ainsi :

$$2\,[Fe^2\,(C^2\,Az\,S^2)^3] + 6\,K\,O = 2\,Fe^2\,O^3 + 6\,K\,C^2\,Az\,S^2,$$

ou avec la notation atomique :

$$Fe^2\,(C\,Az\,S)^6 + 3\,K^2\,O = Fe^2\,O^3 + 6\,K\,C\,Az\,S.$$

L'expérience prouve que le sulfocyanure de potassium se reforme intégralement.

Ces deux réactions fondamentales étant établies, sans revenir de nouveau sur leur application au dosage du fer qui nous avait précédemment occupé, nous allons voir comment on peut facilement en tirer trois nouvelles méthodes volumétriques de dosage pour l'argent, le mercure et l'azote.

En général, dans le cours de cette note, nous n'insisterons pas sur les diverses précautions pratiques ordinairement nécessaires à prendre et qui sont communes à toutes les méthodes de dosage volumétrique.

Essais d'argent. — Supposons qu'à une dissolution d'azotate d'argent additionnée d'une petite quantité d'azotate de sesquioxyde de

fer, on ajoute goutte à goutte du sulfocyanure de potassium; ce dernier sel commencera par précipiter l'argent peu à peu à l'état de sulfocyanure d'argent blanc, puis, dès que tout l'argent sera précipité, il agira sur le sel de sesquioxyde de fer en dissolution et donnera naissance à la couleur rouge sang caractéristique. Les deux réactions successives se formuleront ainsi :

$$Ag\,O\,Az\,O^5 + 2\,(Fe^2\,O^3\,3\,Az\,O^5) + K\,C^2\,Az\,S^2 =$$
$$= Ag\,C^2\,Az\,S^2 + K\,O\,Az\,O^5 + 2\,(Fe^2\,O^3\,3\,Az\,O^5),$$

formule qui devient avec la notation atomique,

$$Az\,O^3\,Ag + (Az\,O^3)^6\,Fe^2 + K\,C\,Az\,S = Ag\,C\,Az\,S + Az\,O^3\,K + (Az\,O^3)^6\,Fe^2,$$

puis en second lieu,

$$Ag\,C^2\,Az\,S^2 + K\,O\,Az\,O^5 + 2\,(Fe^2\,O^3\,3\,Az\,O^5) + 6\,K\,C^2\,Az\,S^2 =$$
$$= Ag\,C^2\,Az\,S^2 + K\,O\,Az\,O^5 + 2\,[Fe^2\,(C^2\,Az\,S^2)^3] + 6\,K\,O\,Az\,O^5$$

ou en notation atomique :

$$AgCAzS + AzO^3K + (AzO^3)^6Fe^2 + 6KCAzS = AgCAzS + AzO^3K + Fe^2(CAzS)^6 + 6AzO^3K.$$

Étant donné, que tout l'argent est d'abord et intégralement précipité, puis étant donné ensuite l'extrême sensibilité de l'action du sulfocyanure alcalin sur le sel de sesquioxyde de fer, on en conclut *à priori*, ce que l'expérience confirme ensuite pleinement, qu'il y a dans cette réaction tous les éléments d'une méthode de dosage de l'argent très rapide et très sûre.

Pour procéder du simple au composé, établissons d'abord quelles sont les diverses opérations nécessaires pour arriver à doser la quantité d'argent tenue en dissolution dans une liqueur donnée ne renfermant que ce métal, par exemple dans de l'azotate d'argent pur.

Nous commençons par dissoudre 1 gramme d'argent pur dans de l'acide azotique pur légèrement étendu d'eau et chauffé.

Il est intéressant, comme dans le dosage du fer, d'avoir une liqueur neutre. On y arrive facilement avec quelques précautions en opérant dans une capsule de porcelaine blanche, puis ajoutant l'acide azotique goutte à goutte. Lorsque la dissolution est complète, on reprend par l'eau distillée et on étend le tout à un volume de un litre.

L'expérience nous a montré que pour la commodité des opérations, il est utile d'employer une dissolution de sulfocyanure alcalin obtenue en saturant d'abord à froid par ce sel de l'eau distillée, puis en dou-

blant le volume de cette première dissolution par l'addition d'une certaine quantité d'eau.

Nous prenons alors 100 centimètres cubes de la liqueur argent (liqueur normale), préparée précédemment, et les introduisons dans une capsule de porcelaine blanche. Comme à l'inverse de ce qui se passe dans le dosage du fer, il s'agit ici de constater l'apparition d'une teinte au lieu de sa disparition, la porcelaine est préférable au ballon de verre spécial que nous employons dans le dosage de ce métal.

A la liqueur argentifère nous ajoutons quelques gouttes d'azotate de sesquioxyde de fer, puis peu à peu, au moyen d'une burette graduée, le sulfocyanure alcalin. A chaque goutte versée une teinte rose apparaît, puis disparaît immédiatement en faisant place à un précipité blanc ; la réaction continue ainsi jusqu'à ce que tout l'argent soit précipité ; dès qu'il ne reste plus trace d'argent en dissolution la teinte rose persiste, et si alors on continuait l'addition du sulfocyanure elle ferait place immédiatement à une coloration rouge sang intense. A ce point de démarcation très facile à saisir on lit sur la burette le nombre de divisions versées *n* ou centimètres cubes, si l'instrument est ainsi gradué, on opère alors de la même façon sur les 900 centimètres cubes de liqueur argent restant, et on obtient un nombre de divisions versées de sulfocyanure alcalin qu'on augmente de son neuvième ; on arrive ainsi à un nombre N, qui est le titre de la dissolution normale de sulfocyanure. On voit que cette façon de scinder ainsi l'opération en deux est utile en ce sens qu'elle permet d'avoir d'abord une première approximation du titre, et indique par là même à l'opérateur l'approche de l'instant auquel il doit s'arrêter dans son second essai final.

On prend alors un poids *p* de la liqueur argentifère à examiner et on étend son volume à un litre avec de l'eau distillée. Les opérations précédentes sont recommencées dans le même ordre sur cette liqueur. On en essaie d'abord 100 centimètres cubes, puis les 900 centimètres cubes restants, et on obtient finalement un nombre de centimètres cubes versés égal à N'. Le rapport $\frac{N'}{N}$ représentera évidemment en grammes la quantité d'argent renfermé dans le poids *p* grammes de la liqueur que l'on avait à essayer. Si par exemple on a trouvé $N = 23$ centimètres cubes et $N' = 18,4$, le poids *p* de liqueur argentifère à examiner contiendra :

$$\frac{N'}{N} = \frac{18,4}{23} = 0^{g},8 \text{ d'argent,}$$

et 100 de cette liqueur renfermeront :

$$\frac{0,8 \times 100}{p}.$$

Si $p = 50$ grammes, la liqueur à essayer contient pour 100 — 1,6 ou $\frac{16}{1,000}$ d'argent.

Supposons maintenant que nous ayons à doser l'argent contenu dans une pièce d'argenterie ou de monnaie, c'est-à-dire un alliage de cuivre et d'argent.

Nous prenons 1 gramme de la matière à essayer et nous la dissolvons avec les précautions relatées précédemment, dans l'acide azotique pur légèrement dilué et chauffé. Lorsque la dissolution est complète nous étendons d'eau distillée la liqueur de façon à en former un volume de un litre. Si le titre approche de 775 millièmes, la dissolution est à peine teintée en bleu verdâtre. Nous prenons 100 centimètres cubes de ce liquide, lui ajoutons de l'azotate de sesquioxyde de fer et recommençons l'essai précédent en versant avec précaution le sulfocyanure alcalin titré. — Supposons qu'il nous faille verser $1^{cc},8$ pour arriver à obtenir persistante la légère teinte rose caractéristique. Nous opérons alors de la même manière sur les 900 centimètres cubes restants et nous trouvons par exemple 16,11, chiffre qui, augmenté de son neuvième 1,79, donne le nombre cherché :

$$N' = 16,11 + 1,79 = 17,9.$$

Le titre en argent de la matière soumise à l'essai est donc :

$$\frac{N'}{N} = \frac{17,9}{23} = 0,778.$$

Ce serait une argenterie qui ne serait même pas du deuxième titre.

Si la burette est divisée comme nous l'avons supposé, en centimètres cubes et en dixièmes de centimètre cube, on peut arriver facilement à ne verser qu'un quart de dixième de centimètre cube.

Dans le dosage précédent, par exemple, il se trouvera qu'après avoir versé 16,08 de sulfocyanure on n'a pas encore de teinte rose qui devient seulement persistante avec 16,11. Si on allait jusqu'à 16,13, on aurait une teinte rouge très intense. Dans ces conditions on voit que

l'erreur possible sera forcément comprise pour un opérateur même fort peu exercé entre :

$$16{,}08 + \frac{16{,}08}{9} \quad \text{et} \quad 16{,}13 + \frac{16{,}13}{9},$$

ou entre :

17,86667 et 17,92222,

ce qui donnerait pour résultats finals erronés soit :

$$\frac{N'}{N} = \frac{17{,}86667}{23} = 0{,}77681$$

soit :

$$\frac{N'}{N} = \frac{17{,}92222}{23} = 0{,}77922.$$

En sorte que l'erreur absolue serait au maximum :

Soit en plus. . . . . 0,77922 — 0,778 = 0,00122.
Soit en moins. . . . 0,778 — 0,77681 = 0,00119.

Ce qui constituerait encore un très bon essai d'argent.

Nous avons d'ailleurs un moyen de circonscrire davantage encore l'erreur possible, il suffit pour cela d'employer une liqueur décime de sulfocyanure alcalin, c'est-à-dire préparée en prenant 100 centimètres cubes du sulfocyanure normal titré précédemment et étendant ces 100 centimètres cubes par de l'eau distillée jusqu'à un volume de 1 litre. Une goutte entière ou 1 dixième de centimètre cube de cette liqueur décime équivaut donc à 1 centième de centimètre cube de la liqueur normale de sulfocyanure ou à 1 dixième de goutte de la burette normale. Ainsi donc si l'on voulait atteindre à une exactitude entièrement rigoureuse, on commencerait par employer la liqueur normale jusqu'aux environs du nombre pressenti par le premier essai jusqu'à 15,9 par exemple, puis on prendrait une deuxième burette contenant la liqueur décime et l'on continuerait l'essai. On trouverait par exemple qu'il faut verser de cette liqueur décime $2^{cc},15$ pour arriver à la teinte rose caractéristique, le nombre N' cherché serait donc alors :

$$N' = 15{,}9 + 0{,}215 + \frac{15{,}9 + 0{,}215}{9} = 17{,}905$$

et le titre deviendrait :

$$\frac{N'}{N} = \frac{17{,}905}{23} = 0{,}778478.$$

L'erreur absolue serait alors, en plus :

$$0,778478 - 0,778 = 0,000478$$

ou à peine 5 dix-millièmes.

Ces résultats peuvent être obtenus très rapidement avec la plus grande facilité, et avec un peu d'habitude on arrive à doser régulièrement à un dix-millième près.

On peut donc conclure dès à présent que notre méthode appliquée au dosage de l'argent dans les minerais argentifères, les matières d'argenterie, les monnaies, les alliages, donne des résultats très suffisamment rigoureux, surtout si l'on a remarqué que les métaux qui, après l'argent, pourraient être précipités par le sulfocyanure ne le sont pas, empêchés qu'ils sont par la présence du fer qui s'empare immédiatement de l'excès de sulfocyanure dès qu'il se produit, pour donner la coloration rouge sang. Nous verrons plus loin qu'il faut en excepter le mercure.

Il nous reste maintenant à étudier l'influence des métaux étrangers qui peuvent se trouver en présence. D'après ce que nous venons de dire, on pressent qu'ils ne devront pas gêner le dosage. Mais auparavant nous pouvons déterminer la sensibilité de ce mode de dosage par l'expérience suivante.

Nous prenons 100 centimètres cubes de liqueur d'argent préparée par la dissolution de 1 gramme d'argent dans l'acide azotique étendu à 1 litre, et on étend ces 100 centimètres cubes à un nouveau volume de 1 litre. Cette nouvelle liqueur d'argent devient le n° 2 et renferme un décigramme d'argent par litre ; on reprend 100 centimètres cubes de cette liqueur n° 2 et on les étend encore à un litre, on obtient ainsi une liqueur n° 3 qui contient 1 centigramme d'argent par litre ou $\frac{1}{100,000}$. Si on opère de même avec la liqueur sulfocyanurée normale, on obtient un sulfocyanure n° 3′, et si l'on fait l'essai de la liqueur n° 3 par la liqueur n° 3′, comme précédemment on trouve $N = 23$.

Toutefois ce point paraît être la limite de dosage possible. D'ailleurs le chlorure de sodium ne produit aucun précipité dans cette liqueur d'argent n° 3.

Nous nous sommes assurés qu'après l'apparition permanente de la teinte rose, à la 23me division il n'y avait plus trace d'argent dans la

liqueur, pour cela nous l'avons filtrée, puis soumise aux réactifs de l'argent.

Présence du cuivre. — Nous allons maintenant examiner si, en présence du cuivre, le dosage de l'argent est toujours possible, ou bien s'il serait nécessaire de séparer ce métal avant l'analyse.

Pour cela, nous avons préparé une dissolution d'azotate de cuivre contenant un gramme de ce métal par litre, nous y avons ajouté 100 centimètres cubes de liqueur normale argent n° 1 et avons fait l'essai avec une liqueur normale de sulfocyanure d'ammonium titrée à 23 centimètres cubes par gramme d'argent; nous avons trouvé sans aucune difficulté le nombre $n = 2,3$. Cette dissolution d'essai contenait comme on le voit :

$$Ag = 0,0909, \quad Cu = 0,9091.$$

Le cuivre, même en très forte proportion, ne nuit donc en aucune façon à l'exactitude de la méthode.

Présence du plomb. — Le plomb, en petite ou en grande quantité, ne gêne en rien l'application de ce mode de dosage, ce qui est un de ses avantages sur la voie humide au chlorure de sodium. En effet, si dans un mélange d'azotates, de sexquioxyde de fer, d'argent et de plomb on verse du sulfocyanure de potassium, l'argent se précipite d'abord intégralement, le sulfocyanure agit ensuite sur le fer, puis finalement sur le plomb, mais seulement après l'accomplissement des deux premières réactions. Si, lorsque l'argent est précipité, au moment où la liqueur garde la teinte rouge persistante on la filtre, on y reconnaît la présence du fer et du plomb, mais aucun réactif n'y signale celle de l'argent.

Supposons que nous prenions 10 centimètres cubes de liqueur normale d'argent n° 1 contenant 1 gramme d'argent par litre, nous lui adjoignons 100 centimètres cubes d'azotate de plomb obtenu en dissolvant 1 gramme de plomb dans l'acide azotique et étendu à un volume de 1 litre. Après avoir additionné le tout d'azotate de sesquioxyde de fer nous procédons à l'essai avec le sulfocyanure de potassium n° 3'; nous trouvons sans aucune difficulté que pour atteindre la coloration rose persistante il nous faut verser $23^{cc},1$, ce qui donne pour la teneur en

argent de la liqueur plombique $\frac{N'}{N} = \frac{23,1}{2300} = 0,010043478$ au lieu de 0,0100.

L'erreur absolue serait donc dans cet exemple de $\frac{4}{100\,000}$ en plus; mais remarquons que le plomb employé dans cette expérience était du plomb du commerce qui pouvait être argentifère.

Cette analyse est pour ainsi dire rigoureuse et prouve que l'on peut très facilement doser l'argent en présence du plomb dans la proportion de 0,09 d'argent pour 0,91 de plomb. On peut d'ailleurs augmenter encore les proportions de plomb sans inconvénient.

Nous conclurons donc dès à présent que le dosage de l'argent en présence du cuivre, du fer ou du plomb, est très facile et très exact par cette méthode, même quand ces derniers métaux sont en grande quantité par rapport au premier.

Les exemples précédents ne sont indiqués qu'afin de montrer que ces métaux ne nuisent en rien et que par suite la présence de l'argent est toujours aussi facilement indiquée et sa quantité dosée aussi exactement que dans une liqueur qui le renfermerait seul.

Présence du mercure. — Nous allons dire maintenant quelques mots de la présence du mercure et de son influence sur les résultats.

Nous préparons une dissolution plutôt un peu acide d'azotate de bioxyde de mercure avec 1 gramme de ce métal, et l'étendons après l'action à un volume de 1 litre. La liqueur est sensiblement verte avant d'être étendue. Nous prenons 100 centimètres cubes de cette liqueur mercurielle que nous ajoutons à 100 centimètres cubes de liqueur normale d'argent n° 1. — Nous additionnons d'un peu d'azotate de sesquioxyde de fer, puis nous procédons à l'essai avec le sulfocyanure de potassium n° 2'. Nous trouvons que pour atteindre la couleur rose persistante il faut verser 44 centimètres cubes de sulfocyanure; les réactions d'ailleurs sont les mêmes qu'avec l'argent seul; le point extrême est aussi facile à saisir, mais on remarque que le mercure se précipite en même temps que l'argent : si nous essayons alors 100 centimètres cubes de liqueur mercurielle seule par le sulfocyanure de potassium n° 2' après avoir additionné d'azotate de sesquioxyde de fer, nous trouvons qu'il faut verser 21 centimètres cubes de sulfocya-

nure n° 2′ pour terminer l'essai, en sorte que nous retrouvons ici par différence :

44 — 21 = 23, le titre du sulfocyanure par rapport à l'argent.

Cet essai montre que le dosage de l'argent en présence du mercure paraît impossible par ce procédé à moins qu'on ne parvienne, comme dans la voie humide au sel marin, à maintenir en dissolution le mercure au moyen de l'acétate de soude ou d'ammoniaque.

L'expérience précédente nous amène naturellement à examiner si le dosage du mercure, seul en présence d'autres métaux que l'argent, est possible par ce procédé.

Dosage du mercure. — Nous commençons par obtenir le mercure à l'état de sel de bioxyde comme précédemment étendu à 1 litre pour 1 gramme de mercure dissous, puis nous en prenons 100 centimètres cubes auxquels nous adjoignons de l'azotate de sesquioxyde de fer, puis des azotates de cuivre et de plomb. Nous faisons l'essai avec le sulfocyanure de potassium n° 2′ et nous trouvons qu'il faut verser 21cc,1, ce qui nous indiquerait la présence de 0gr,100 476 de mercure au lieu de 0,100, d'où une erreur absolue égale à 0,000 476 en plus, ou à peine $\frac{5}{10\,000}$, ce qui constitue un très bon dosage. D'ailleurs ici comme précédemment, la petite erreur en plus peut provenir du plomb probablement un peu argentifère.

Nous n'insistons pas ; les mêmes considérations que celles présentées au sujet de l'argent trouveraient ici leur place.

Les diverses précautions à prendre dans ces dosages sont semblables à celles exigées par les méthodes volumétriques en général. Par exemple on sait qu'il est souvent utile de retitrer les dissolutions chaque fois que l'on s'en sert, surtout quand dans l'intervalle de deux essais la température du laboratoire a notablement varié.

Disons maintenant quelques mots du dosage de l'azote par ce procédé.

Dosage de l'azote. — Supposons que nous dégagions l'azote de la matière à analyser sous forme d'ammoniaque gazeuse par l'un des procédés quelconques connus et que nous n'avons pas à décrire ici.

L'ammoniaque produite, au lieu d'être dirigée dans une liqueur sulfurique ordinairement employée, est reçue dans une dissolution de ses-

quisulfocyanure de fer rouge sang. Cette dissolution aura été préparée de façon à contenir plutôt un petit excès de sulfocyanure d'ammonium libre et telle que 100 centimètres cubes nécessiteront pour se décolorer entièrement 100 centimètres cubes d'une dissolution d'ammoniaque dans l'eau renfermant par exemple p d'azote par dixième de litre.

Les vapeurs ammoniacales condensées dans cette dissolution titrée commenceront par précipiter le sesquioxyde de fer, mais, si, ce qu'il est inutile de détailler ici, on s'est arrangé de façon à ce que toute l'ammoniaque dégagée dans l'analyse en question soit insuffisante pour amener la décoloration complète du sesquisulfocyanure de fer, on attendra que toute l'ammoniaque ait traversé la liqueur et s'y soit dissoute en réagissant, puis on ajoutera peu à peu la dissolution ammoniacale titrée à l'avance.

Supposons que pour arriver à la décoloration complète, il faille ajouter 15 centimètres cubes; l'ammoniaque provenant de la matière à analyser équivaudra donc à $100 - 15 = 85$ centimètres cubes de l'ammoniaque titrée et comme 100 de cette dissolution titrée renferment p d'azote, les 85 renfermeront :

$$p' = \frac{85}{100} p.$$

Ce sera le poids de l'azote contenu dans la matière essayée. Si on suppose $p = 1$ gramme, on aura en grammes :

$$p' = \frac{85}{100} = 0^{gr},85$$

et généralement si n' est le nombre de divisions à verser pour atteindre la fin de l'opération et n le nombre de divisions ou centimètres cubes auquel correspond la quantité d'ammoniaque dégagée, on a :

$$100 - n' = n$$

et

$$p' = \frac{100 - n'}{100} = \frac{n}{100}.$$

n' est le nombre lu sur la burette. En divisant par 100 son complément à 100, c'est-à-dire par une simple lecture en somme, on aura du premier coup en grammes et en centièmes la teneur en azote de la matière à analyser.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU

MOIS DE JUILLET 1880

Séance du 2 Juillet 1880.

PRÉSIDENCE DE M. GOTTSCHALK.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 18 juin est adopté sous réserve des observations contenues dans la lettre ci-dessous de M. Bourdais.

« Monsieur le Président,

« Je reçois le procès-verbal de la dernière séance et je ne puis laisser sans réponse l'opinion que mon cher confrère, M. Trélat, me *prête* d'être partisan exclusif des chauffages avec de l'air à haute température.

« Or, en établissant à ce sujet un calcul *irréfutable* et *irréfuté*, je n'ai eu qu'un but, c'était de répondre à l'assertion de M. Coüard, qui prétendait qu'il était *plus économique* de fournir beaucoup d'air à basse température, que peu d'air à une température élevée.

« Il est mathématiquement démontré que la solution *économique* est celle que j'ai donnée.

« Permettez-moi d'ajouter que la question de ventilation étant une des données du problème, qui entre elle-même dans la détermination de la température de l'air à son arrivée dans la salle, cette température n'est plus et ne peut être une donnée de l'équation, mais bien précisément l'inconnue qui s'en dégage.

« En un mot, si l'on se donne la perte par heure à travers les parois et le volume de ventilation par heure, la seule inconnue est la température d'arrivée d'air. Et quelqu'élevée qu'elle puisse ressortir du calcul, elle ne saurait être diminuée, sans que le côté *économique* du problème en souffre.

« Cela ne veut pas dire que si elle est excessive, il ne faut pas l'abaisser pour obéir aux autres côtés de la question. Et je n'ajouterai qu'un mot, c'est que dans les données pratiques ordinaires, il n'y a pas lieu de le faire et la crainte exprimée est théorique.

« Quand la question reviendra, je porterai des chiffres nombreux.

« Veuillez agréer, etc..

« BOURDAIS. »

M. le Président, informe la Société que M. Douau a été nommé officier d'Académie.

Il annonce le décès de M. de Arbulu, membre sociétaire.

L'ordre du jour appelle la communication de M. P. Charpentier, mais M. le Président propose à l'assemblée de donner auparavant la parole quelques instants à M. Clémandot, pour une communication d'actualité très intéressante.

M. Clémandot soumet à l'examen de l'assemblée des échantillons de verre nacré, qui sont le résultat des études entreprises par M. Frémy et lui, il y a déjà quatre ans. Ces échantillons présentent l'aspect véritable de la nacre, et ce n'est que rarement, que l'on est parvenu à imiter aussi fidèlement un produit de la nature.

M. Clémandot rappelle qu'après s'être occupé de fabrication du verre, c'est-à-dire avoir cherché à produire les verres plus solides, c'est le contraire qu'il fait maintenant, en fabriquant des verres *altérables*, qu'il soumet sous une pression considérable (7 et 8 atmosphères) à l'action de l'acide chlorhydrique étendu d'eau.

Les échantillons montrés par M. Clémandot sont trouvés remarquables.

M. Ivan Flachat demande ensuite à dire quelques mots au sujet de la loi récemment promulguée, relative aux chemins de fer d'intérêt local et aux tramways.

M. Ivan Flachat rappelle que, dans la séance du 7 novembre dernier, en mettant sous les yeux de la Société un exposé rapide de la situation de la question des voies de tramways à ce moment, il a eu l'honneur d'appeler son attention sur les grands avantages que peuvent offrir ces voies pour ébaucher une circulation perfectionnée et desservir à très peu de frais, et dans de bonnes conditions, des localités ou des établissements industriels, qui pourraient rester longtemps pratiquement inaccessibles aux grands wagons et aux grandes installations. Dans sa pensée, les tramways français doivent être aux grandes lignes actuelles ce que les chemins de fer parisiens sont eux-mêmes aux railways métropolitains de la grande ville de Londres. Il a passé en revue les dispositions techniques proposées pour rendre ces chemins accessibles au plus grand nombre : la réduction de largeur de la voie; l'adoption simultanée des rails saillants et des rails à rebord conformes aux types primitifs des tramways; l'emploi des bandages de roues disposés pour rouler tantôt sur la jante et tantôt sur le boudin, etc.

M. Ivan Flachat désire aujourd'hui appeler l'attention de la Société sur les nouvelles dispositions légales qui régissent ces chemins de fer économiques en vertu *d'une loi du 11 juin 1880*, récemment promulguée, au sujet des *chemins de fer d'intérêt local* et des *tramways*.

Cette loi remplace une loi précédente du 12 juillet 1865, dont l'action féconde avait enfanté une quantité considérable de lignes de faible trafic. Ces lignes, tout en portant ombrage aux grandes Compagnies, et en laissant de sensibles déficits dans la caisse des capitalistes trop confiants, ont, en définitive, enrichi le pays de voies de communications que l'industrie privée paraît aujourd'hui peu disposée à disputer à l'initiative de l'État. La loi de 1865 apportait, en effet, de très grandes facilités à l'obtention des concessions de chemins de fer *d'intérêt local,* sans donner, toutefois, aucune définition de cet intérêt local.

Le conseil général arrêtait, de concert avec le préfet, la direction, le mode de construction, les projets définitifs, et le préfet homologuait les tarifs et contrôlait l'exploitation. — Le conseil d'État et les ministres n'intervenaient que pour déclarer l'utilité publique et autoriser l'exécution, sans quoi les expropriations ne pouvaient avoir lieu.

La loi de 1880 consacre à cet ordre de choses une restriction importante; « l'utilité publique est déclarée, et l'exécution *est autorisée par une loi.* »

Mais pour les *tramways* « l'utilité publique est déclarée, et l'exécution *est autorisée par décret délibéré en conseil d'État.* »

D'après la loi de 1880, comme d'après celle de 1865, c'est le conseil général qui arrête les conditions de construction et d'exploitation des chemins d'intérêt local qui, d'ailleurs, ne semblent pas mieux définis aujourd'hui qu'alors; mais la loi nouvelle étend cette faculté aux conseils municipaux, pour les chemins qui ne dépassent pas le territoire de la commune.

Deux communes voisines peuvent naturellement s'entendre, pour un chemin d'intérêt commun, comme en maintes occasions l'ont fait deux ou plusieurs conseils généraux de départements voisins.

Pour les tramways dont le caractère n'est d'ailleurs pas mieux défini, mais auxquels la loi paraît réserver d'une manière plus normale la faculté d'emprunter le sol des routes ordinaires, les conditions de construction et d'exploitation sont réglées, la concession est accordée par l'État si les rails doivent être posés sur une voie dépendant du domaine public de l'État, par le conseil général dans le cas contraire, avec faculté au conseil municipal d'accorder lui-même la concession, si les rails ne doivent emprunter qu'un chemin vicinal ordinaire ou un chemin rural.

Il résulte de ces dispositions de grandes facilités pour relier au moyen de tramways les petites localités entre elles, et notamment les gares aux villages, aux établissements industriels, etc., facilités qui ne sont pas accordées dans la même mesure aux chemins de fer proprement dits, alors même qu'ils sont classés dans la catégorie des chemins d'intérêt local.

M. Ivan Flachat a cru devoir appeler l'attention de la Société sur ces dispositions nouvelles, car, dans bien des cas, on trouvera avantage à débuter par un tramway au point de vue de l'économie de construction et encore plus au point de vue de l'économie des lenteurs administratives.

Une fois le tramway réalisé, si le trafic vient à l'exiger, ce sera une opé-

ration des plus faciles que d'en perfectionner successivement la voie, comme cela a été fait déjà, en substituant des rails saillants aux rails à ornières; et à ce moment, les formalités pourront être remplies avec toute la méthode qu'elles comportent, les intérêts engagés n'en souffriront que dans la mesure la plus faible; et si l'on a eu la bonne inspiration d'adopter, pour le transport des grands wagons, les trucs ingénieux du chemin de fer de Ribeauvillé que nous a fait connaître notre collègue, M. Faliès, on appréciera les bienfaits d'une législation qui dispose les grandes Compagnies à traiter dorénavant les demandeurs en concession comme des auxiliaires, et non plus comme des concurrents.

M. le Président remercie M. Ivan Flachat d'avoir pris soin de signaler, dès sa promulgation, une loi nouvelle qui sera certainement féconde en résultats pour le bien du pays et pour les Ingénieurs civils.

M. Paul Charpentier donne communication de sa note sur de nouvelles méthodes d'analyse volumétrique pour le dosage rapide de l'argent, du mercure et de l'azote. (Ce mémoire sera publié *in extenso* au Bulletin.)

M. Charpentier rappelle qu'en 1870, il a eu l'honneur de présenter à la Société diverses méthodes volumétriques pour le dosage du fer, des alcalis et des acides minéraux, méthodes basées sur l'emploi des sulfocyanures alcalins, fournissant en présence d'un sel de sesquioxyde de fer une coloration rouge sang très intense et caractéristique.

Si on ajoute à une dissolution d'azotate d'argent, un peu d'azotate de sesquioxyde de fer, et qu'on verse dans cette liqueur du sulfocyanure de potassium, on obtient un précipité blanc de sulfocyanure d'argent; puis au moment précis où tout l'argent est précipité, le sulfocyanure réagit sur le sel de fer, et donne naissance à la couleur rouge sang caractéristique. Il est facile de concevoir dès lors comment, en opérant avec des liqueurs titrées, on peut faire des essais d'argent avec la plus grande simplicité, et cela malgré la présence du cuivre, du fer ou du plomb.

Une méthode analogue permet le dosage du mercure avec une erreur moindre de $\frac{5}{10000}$.

Pour l'azote, on s'arrange pour l'obtenir sous forme de gaz ammoniac, qu'on fait dégager dans une dissolution de sesquisulfocyanure de fer rouge sang, employée en quantité telle que la décoloration complète du sulfocyanure de fer ne soit pas obtenue. Il suffit alors d'ajouter goutte à goutte une liqueur ammoniacale titrée à l'avance, pour compléter la décoloration, et déduire, par différence, la quantité d'ammoniaque, et par suite d'azote, qu'il s'agissait de doser.

Un phénomène d'affinité curieux est révélé par le rôle du fer dans le dosage de l'argent, dont il vient d'être parlé; s'il n'y avait pas de fer, le cuivre et le plomb pourraient, dans certains cas, se précipiter en même temps que l'argent; tout en paraissant, à première vue, avoir moins d'affinité que le cuivre et le plomb pour le sulfocyanogène, le fer, bien que ne

donnant lieu lui-même qu'à une coloration, empêche la précipitation de ces métaux par le sulfocyanogène de s'effectuer.

M. le Président remercie M. P. Charpentier, et donne la parole à M. Achard, pour sa communication sur les freins continus à embrayage électrique, et sur la pile accumulatrice de M. Gaston Planté.

M. Achard fait connaître à la Société les perfectionnements apportés au frein continu à embrayage électrique et mis en pratique par l'initiative de M. Regray, ingénieur en chef du matériel et de la traction à la Compagnie des chemins de fer de l'Est, sur le rapide de Paris à Avricourt.

Il n'y a aucune installation sur la machine.

Tout l'appareil d'embrayage a été réduit à un seul électro-aimant tubulaire suspendu au châssis comme un pendule, parallèlement à l'un des essieux.

Deux ressorts appuyant sur l'arbre tournant de cet électro-aimant servent à le maintenir à une faible distance et donnent en même temps passage au courant électrique qui doit lui transmettre l'action magnétique.

Pendant la marche, contrairement à ce qu'on aurait pu croire, il se maintient en repos relatif et ne donne lieu à aucun tapotement.

Tous les véhicules du train étant armés de l'appareil, il suffit de faire circuler le courant électrique, pour que tous les électro-aimants, quelle que soit la vitesse, soient attirés par les essieux correspondants, qui leur transmettent instantanément leur mouvement de rotation.

Les deux chaînes attachées sur l'arbre tournant, à droite et à gauche, s'enroulent et soulèvent les leviers qui font, au moyen de transmissions continues, appuyer les sabots contre les bandages avec une force telle qu'en une seconde 6/10 toutes les roues d'un train peuvent être complètement immobilisées.

Le train est ainsi converti en un vaste traîneau glissant sur les rails, s'arrêtant à la plus courte distance, environ 200 mètres pour une vitesse de 80 kilomètres à l'heure.

Pendant l'arrêt, il n'y a pas de réactions des véhicules les uns contre les autres, pas de chocs, parce que toutes les voitures, aussi bien les dernières que les premières, quel que soit leur nombre, sont enrayées au même instant, à la même seconde, avec une simultanéité complète.

Il n'est nullement nécessaire d'immobiliser les roues de tous les véhicules. L'appareil modérateur, à fil de résistance, permet au mécanicien de régler l'intensité du courant électrique, de manière à n'exercer sur les bandages qu'une pression très voisine de celle du calage complet. L'expérience prouve qu'on obtient ainsi un arrêt plus rapide. Pour une vitesse de 80 kilomètres, le train peut être arrêté à moins de 150 mètres au lieu de 200.

Le fourgon de tête et celui d'arrière sont tous les deux munis d'un générateur d'électricité, pile accumulatrice de M. Planté ou machine dynamo-

électrique, et d'un commutateur destiné à lancer le courant tout le long du train.

Cette disposition, absolument semblable aux deux extrémités du train, permet aux trois employés ordinaires de disposer de la manœuvre complète de tous les freins avec une égale facilité :

Le mécanicien, au moyen d'un cordon de serrage et d'un cordon de desserrage aboutissant au commutateur du fourgon de tête.

Le chef de train en tête et le sous-chef de train en arrière avec le commutateur à leur portée près de la vigie.

Ainsi, le sous-chef de train, sur le dernier véhicule, peut serrer et desserrer tous les freins, compris ceux du tender et de la machine, aussi rapidement et aussi énergiquement que le mécanicien. C'est une double garantie de sécurité.

L'AUTOMATICITÉ.

L'automaticité a une raison d'être, surtout pour les cas de rupture d'attelages. Mais on l'utilise aussi comme avertisseur pour divers systèmes de freins continus dont certains organes ne fournissent pas toujours toutes les garanties désirables de bon fonctionnement.

C'est ainsi qu'un dérangement dans le mouvement de l'air comprimé ou de la production du vide est signalé par l'arrêt du train pour les freins à air comprimé et les freins à vide, lorsqu'ils sont automatiques.

C'est un arrêt intempestif, une perte de temps, et, dans certains cas, une cause de dangers par le stationnement anormal de deux tronçons du train sur une voie principale fréquentée.

Mais les employés sont avertis et sont sur leurs gardes; ils doivent prendre toutes les mesures conservatrices nécessaires.

Sur les trains de voyageurs munis de freins ordinaires, les ruptures d'attelages sont très rares.

Sur certains réseaux, on ne se souvient pas d'en avoir vu.

Il n'en est pas toujours ainsi avec les freins continus lorsqu'ils n'agissent pas simultanément avec la même rapidité à l'arrière et à l'avant du train.

M. Marié a traité cette question avec beaucoup de lucidité dans son rapport sur les essais des freins par l'air comprimé et par le vide à la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée.

Il ne suffit pas, dit-il, page 357 de la *Revue générale des chemins de fer*, que l'action du frein soit puissante et rapide, « il faut encore qu'il n'en « résulte pas des réactions insupportables pour les voyageurs et dange- « reuses pour le matériel. Ces réactions seraient nulles si l'on pouvait « arrêter simultanément, avec la même énergie, chacune des masses à « liaisons fixes qui sont reliées l'une à l'autre par des attaches arti- « culées. »

Plus loin, pages 361 et 362, M. l'Ingénieur en chef de la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée ajoute :

« Les freins des premières voitures sont serrés à fond alors que les « dernières sont encore libres. Les premières voitures sont donc retar- « dées; l'arrière du train comprime l'avant, et lorsque les freins des der- « nières voitures sont serrés à leur tour, il résulte de la détente des res- « sorts, des chocs, des réactions horizontales d'autant plus fortes et « dangereuses que l'action initiale des freins sur les premières voitures a « été énergique. Les mêmes effets se produisent exactement, même avec « les triples valves en bon état, quand les trains sont très longs et dépas- « sent 18 voitures par exemple; la vitesse de propagation devient insuffi- « sante et l'arrière du train est serré bien après l'avant.

« Lors du serrage brusque des freins, les chocs dont nous venons de « parler produisent assez souvent des ruptures d'attelages. Dans le Wes- « tinghouse, qui est automatique, l'arrière du train s'arrête alors de lui- « même; mais il reste à pourvoir au danger nouveau qui résulte d'un « coupon de train arrêté brusquement et stationnant sur la voie principale. »

« Pour le *vacuum*, qui n'est pas automatique, les coupons du train « séparés continuent à marcher, ce qui peut présenter des dangers sérieux « pour les profils en pente. »

Ainsi qu'il a été dit, avec le frein à embrayage électrique, il n'y a pas de réactions, pas de chocs pendant le serrage, par suite pas de rupture d'attelages.

C'est la conséquence de la rapidité avec laquelle le courant électrique traverse tous les électro-aimants à la fois. Tous les freins, aussi bien ceux des dernières voitures que ceux des premières, sont actionnés au même instant, à la même seconde.

Le frein électrique ne nécessite pas aussi impérieusement l'action automatique que les autres systèmes :

1° Parce que l'arrière du train, fût-il détaché, ne serait pas abandonné à lui-même. Le sous-chef du fourgon de queue peut toujours serrer et desserrer tous les freins du fourgon.

2° Parce que, dans aucun cas, il ne peut occasionner la rupture des attelages ;

3° Tous les organes dont il est composé comportent des garanties de bon fonctionnement.

Notamment, l'électro-aimant agissant comme une poulie de friction contre l'essieu, les surfaces tendent à s'ajuster plus intimement par l'espèce de rodage qui se produit à chaque serrage. De là, une augmentation d'adhérence favorisant le fonctionnement.

Les câbles électriques de transmission du courant électrique sont composés de 12 fils de cuivre de 1 millimètre, recouverts d'une couche de gutta-percha et d'une tresse serrée de toile. Ils porteraient plus de 100 kilos et ne sont soumis à aucune tension; il n'y a pas de raison pour qu'ils se rompent.

Les crochets et les pinces d'attelage des câbles d'une voiture à l'autre sont maintenus fortement par des ressorts. On ne peut les décrocher que

par un effort notable. S'ils étaient décrochés par accident ou par malveillance, le mécanicien pourrait néanmoins serrer et desserrer tous les freins de tête jusqu'au point du décrochage, et le sous-chef de train d'arrière, serrer tous les freins d'arrière jusqu'au même point.

La pile de M. Planté est un véritable accumulateur à lames de plomb, qui se charge par la décomposition de l'eau acidulée et se décharge par la recomposition de la même eau acidulée, sans aucune perte de métal ni de réactif.

Il n'y a pas de raison pour qu'il y ait dérangement.

La pile Daniell au sulfate de cuivre, qui sert à charger l'accumulateur Planté, a les meilleurs états de service; depuis quelques vingtaines d'années, elle transmet les dépêches électriques à toutes les distances dans les bureaux de tous les États d'Europe.

On n'y touche qu'une fois par semaine; elle peut fonctionner sans arrêt nuit et jour, très régulièrement pendant quinze jours, sans nettoyage et sans addition de sulfate de cuivre.

Les générateurs mécaniques de l'électricité, les machines dynamo-électriques de divers systèmes, qu'on emploie depuis longtemps dans l'industrie dans des conditions tout à fait pratiques, peuvent remplacer les piles avec de grands avantages pour la manœuvre des freins. En empruntant à l'essieu la force motrice nécessaire pour les faire mouvoir, on produit des courants de très grande intensité ne coûtant absolument rien, puisqu'on ne les fait agir qu'au moment précis où l'on veut arrêter le train pendant une vingtaine de secondes seulement.

Néanmoins, malgré toutes ces conditions pratiques de bon fonctionnement, on a dû ajouter l'automaticité au frein à embrayage électrique, pour donner satisfaction au désir de M. le ministre des Travaux publics et de plusieurs ingénieurs distingués ; et surtout, parce que les mêmes dispositions qui rendent le frein électrique automatique, fournissent au mécanicien l'avantage précieux de pouvoir du même coup mettre en action le générateur d'électricité de tête et le générateur d'arrière, et de lancer ainsi à travers tous les électro-aimants deux courants électriques égaux et concordants. Tous les freins, quelle que soit la place qu'ils occupent, sont actionnés simultanément par une quantité d'électricité absolument égale. C'est dire qu'ils agissent tous avec la même énergie.

L'électricité se prête avec facilité à la production des effets automatiques.

Deux systèmes sont susceptibles de rendre automatique le frein à embrayage électrique.

Le premier est fondé sur le principe de M. Prudhomme, employé avec succès à la Compagnie du Nord et à celle de Paris-Lyon-Méditerranée, comme avertisseur en cas de rupture d'attelages et en cas d'accidents dans les voitures, pour mettre en communication les voyageurs avec les agents du train et les agents entre eux.

L'installation d'une pile et d'un électro-aimant de relais sur le fourgon

à bagages de tête et sur celui d'arrière suffisent pour produire l'action automatique.

La pile d'avant et celle d'arrière sont reliées en opposition par des câbles électriques accolés aux câbles principaux du serrage et s'accrochent du même coup d'une voiture à l'autre à des pinces métalliques qui donnent passage au courant.

Lorsque la rupture des attelages se produit, elle entraîne forcément le décrochage des câbles conducteurs. Comme dans le système Prudhomme, les pinces métalliques, en se fermant, ferment le circuit électrique de chacune des deux piles de relais. A l'avant et à l'arrière, les deux électro-aimants de relais, devenus actifs, actionnent les deux générateurs d'électricité de serrage et les deux tronçons séparés sont enrayés aussitôt.

Le *deuxième système* comporte les mêmes installations de piles et d'électro-aimants de relais. Les mêmes câbles relient les deux piles non plus en *opposition*, mais en *tension*. Par cette disposition, le courant circule constamment pendant la marche, les armatures des électro-aimants de relais sont constamment maintenues adhérentes contre les pôles. Aussitôt qu'il y a rupture d'attelages, les câbles se décrochent et interrompent le courant électrique; les deux électro-aimants de relais abandonnent leurs armatures; ces dernières, en s'éloignant des pôles, font circuler les courants des deux générateurs et serrer les freins des deux tronçons détachés.

Ce deuxième système est plus complet. Il agit dans tous les cas de dérangements qui occasionnent l'interruption du courant des piles de relais :

1° En cas de rupture d'attelages;

2° Dans le cas de la rupture ou du décrochage accidentel de l'un des câbles conducteurs;

3° Dans le cas de dérangement des piles de relais ;

4° Dans le cas d'incendie de l'un des véhicules du train;

5° Les voyageurs eux-mêmes peuvent, en cas d'urgence, arrêter le train.

C'est ce dernier système qui a été appliqué avec succès pendant deux ans sur les express de Paris à Strasbourg.

Application du frein électrique aux trains de marchandises.

Avec la certitude de pouvoir, au moyen des générateurs d'électricité, lancer d'un bout à l'autre du train, quelle que soit sa longueur, un courant aussi énergique qu'on veut, il ne peut rester de doute sur l'efficacité du frein électrique pour la manœuvre des trains de marchandises.

Il n'est nullement nécessaire que tous les véhicules soient armés de freins électriques. Deux groupes de 5 ou 6 freins, l'un à l'avant, l'autre à l'arrière, suffisent pour produire l'arrêt ou modérer la marche, sans réactions sensibles de la queue du train contre la tête.

On peut aussi disséminer les freins sur toute la longueur du train, de manière à égaliser la résistance au moment du serrage. Les véhicules intermédiaires, de quelque provenance qu'ils soient, livrent passage au courant électrique au moyen de câbles conducteurs portatifs, s'adaptant à toutes les dispositions des wagons. C'est là un des côtés pratiques du frein électrique.

Cette application aux trains de marchandises se traduit, comme le fait très bien remarquer M. Vicaire dans son Rapport officiel adressé au Ministre des travaux publics, par de nouvelles garanties de sécurité, non seulement pour cette catégorie de trains, mais aussi pour les trains à voyageurs. Il est à remarquer qu'il est rare qu'un accident arrive à ces derniers sans qu'un train de marchandises ne s'y trouve mêlé.

Une autre conséquence, c'est l'économie palpable de la suppression des serre-freins auxiliaires. Pour certaines Compagnies, ce sera le remboursement en deux ou trois années de tous les frais d'installation du frein continu à embrayage électrique.

En résumé,

Le frein continu à embrayage électrique est d'une grande simplicité.

Aucune pièce n'est en mouvement pendant la marche. Il peut être manœuvré (serrage et desserrage) par les trois agents du train, à l'arrière aussi bien qu'à l'avant.

Les voyageurs, en cas d'urgence, peuvent arrêter le train.

Il est automatique.

Il agit avec toute la simultanéité désirable, aussi bien sur les dernières voitures que sur les premières, quelle que soit la longueur du train.

Il est applicable aux trains de marchandises.

On peut intercaler, dans tous les trains à voyageurs et à marchandises, des véhicules de toute provenance.

La force motrice ne coûte absolument rien.

Il ne nécessite aucune installation sur la locomotive.

Son poids ne dépasse pas 500 kilogrammes.

Sa construction ne comporte aucune pièce qui ne soit métallique.

Il n'y a ni caoutchouc, ni cuir.

L'addition d'un simple levier le rend manœuvrable à la main en utilisant la force de rotation des roues.

La distance maxima des sabots est au moins de 15 millimètres.

En une seconde 6/10 les roues des dernières voitures, aussi bien que celles des premières, sont serrées à fond. On peut exercer sur les bandages une pression égale à 2 fois et même 3 fois le poids du véhicule.

On peut modérer à volonté la pression et éviter le calage complet et obtenir l'arrêt à la plus courte distance.

Le dérangement d'un ou plusieurs freins n'empêche pas les autres de fonctionner.

Aucun organe, aucune pièce de frein électrique n'exige le graissage.

L'humidité, la pluie, la boue, la poussière, les orages, la neige, la gelée n'empêchent pas les freins électriques de fonctionner.

M. LE PRÉSIDENT remercie M. Achard pour sa communication sur le frein continu électrique qui est le vrai frein français et qui se prête à l'application sur les trains de marchandises, tandis que les autres freins continus, sauf pourtant ceux à chaînes des systèmes Eberlein, Becker, Clarke, etc., ne sont jusqu'ici applicables qu'aux trains de voyageurs.

Personne n'ayant d'observation à faire sur la communication de M. Achard, M. le Président propose d'élargir la question et d'étendre la discussion à l'étude comparative des différents systèmes aujourd'hui en usage, de freins continus.

Il rappelle que la question des freins continus n'a pas été traitée en réunion publique en France depuis le Congrès du génie civil qui s'est réuni en 1878, et il prie M. Bandérali de vouloir bien exposer à la Société le résultat des observations qu'il a faites dans son récent voyage en Angleterre sur les derniers perfectionnements apportés à ces freins.

M. BANDÉRALI désire prendre part à la discussion qui aura lieu plus tard et il croit que, pour le moment, les ingénieurs représentant les freins continus les plus répandus et qui sont présents à la séance, pourraient, mieux que tout autre, exposer les derniers perfectionnements apportés à leurs freins.

M. LE PRÉSIDENT prie en conséquence M. Kapteyn, de préciser les perfectionnements qu'a reçus, depuis 1878, le frein Westinghouse.

M. KAPTEYN répond avec plaisir à l'invitation de M. le Président.

Il parlera d'abord de la triple-valve comme constituant l'organe le plus important de ce système.

Il a été observé qu'avec l'ancienne triple-valve et des trains très longs, de 24 voitures, par exemple, l'action n'était pas suffisamment simultanée sur toutes les voitures pour éviter complètement les réactions des tampons, occasionnant des chocs désagréables pour les voyageurs et destructifs pour le matériel. Ce défaut était dû, en grande partie, à la trop grande élasticité des ressorts de choc; M. Westinghouse, malgré cela, put perfectionner ses appareils de façon à rendre l'action du frein encore plus rapide et, par conséquent, plus simultanée qu'avant.

Il a, dans ce but, rectifié autant que possible la conduite générale du train pour diminuer la résistance de l'air. Il a, d'autre part, rendu la triple-valve elle-même assez sensible pour que la moindre dépression produite dans la conduite du train la fît fonctionner.

Pour bien se rendre compte dans tous ses détails de ce perfectionnement, un dessin serait indispensable. Il suffira peut-être, pour le moment, de rappeler que dans l'ancienne triple-valve, il fallait vaincre les résistances du ressort de graduation, de la friction du piston et du tiroir pour faire entrer une certaine quantité d'air dans le cylindre à freins. Dans la nouvelle valve, au contraire, le ressort de graduation a été supprimé et l'on n'a plus qu'à vaincre le frottement du piston lui-même pour admettre une quantité d'air aussi petite que l'on désire, dans le cylindre à freins.

Cette modification avait pour résultat, non seulement de donner au mécanicien plus de commande sur le frein, mais encore de le rendre d'une rapidité d'action surprenante. Aussi, dès à présent, le frein automatique est maniable avec plus de délicatesse et avec plus de sûreté que les freins non automatiques à action directe.

Le second point concerne la secousse caractéristique que l'on observe au moment de l'arrêt d'un train obtenu rapidement. Pour bien se rendre compte de ce qui se passe, l'on n'a qu'à se rappeler que la caisse de la voiture est suspendue élastiquement sur les essieux. Il s'ensuit que, si pendant le mouvement on arrête les roues par l'action du frein, la caisse tendra par son inertie à se pencher en comprimant les ressorts d'avant. Pendant les dernières secondes de l'arrêt cette action devient plus prononcée parce que le frottement des sabots augmente à mesure que la vitesse du train diminue et, au moment de l'arrêt complet, la caisse de la voiture se remet dans sa position normale, avec un choc sec peu agréable.

Ceci peut être complètement évité en desserrant les freins vers la fin de l'arrêt, par exemple au dernier tour de la roue. L'air des cylindres a besoin de quelques secondes pour s'échapper complètement et, par conséquent, l'action du frein sera diminuée par là, sans être complètement annulée, de sorte que la caisse de la voiture se remet graduellement et sans secousse dans sa position normale.

Le troisième perfectionnement se rapporte à ce que l'on a appelé la *valve de friction.*

Pour en faire connaître le principe, M. Kapteyn est obligé de parler des expériences intéressantes faites par le capitaine Douglas-Galton, en 1879. Il trouvait que le coefficient de frottement entre le sabot et la roue diminue considérablement à mesure que la vitesse du train augmente, tandis que le coefficient d'adhérence de la roue sur le rail est constant à toutes les vitesses.

Ce dernier fait s'explique par l'observation qu'à toutes les vitesses, le point de contact de la roue avec le rail est en repos et, par conséquent, la roue représente un état statique et offre toujours la même résistance au glissement.

Un troisième point mis en évidence était que sous l'action du frein une roue glissante ne produit pas un effort retardateur aussi grand qu'une roue tournant à peine.

Il suit donc de là :

1° Que l'action du frein ne doit pas être trop énergique, afin d'éviter le glissement (calage des roues);

2° Que la pression sur les sabots doit être plus considérable au commencement de l'arrêt que vers la fin ;

3° Que pour obtenir la plus grande efficacité du frein, il faut que le frottement entre le sabot et la roue soit très rapproché de la résistance au glissement.

C'est dans ce but que M. Westinghouse avait imaginé *la valve de friction*

qui peut être décrite comme suit, en quelques mots. Il s'agissait simplement de laisser échapper une quantité d'air du cylindre à frein à mesure que la vitesse du train diminuait. Pour cela, on suspendait sous chaque voiture un des sabots à un levier, au lieu de le suspendre au châssis; l'autre bout du levier trouvait sa résistance contre une valve d'échappement en communication avec l'air du cylindre à frein.

On peut facilement s'imaginer cet organe combiné de telle façon que la friction du sabot contre la roue, ouvre la valve d'échappement dès qu'elle dépasse une limite fixée d'avance. Et cette limite est, comme il a été expliqué, l'adhérence entre le rail et la roue. On ne doit cependant pas perdre de vue que cette limite est variable et dépend beaucoup de l'état des rails. Par conséquent, il fallait rester en dessous du coefficient d'adhérence pour des rails *humides*, et cette condition diminuait évidemment l'efficacité du frein dans le cas où les rails étaient secs. Pour fixer les idées à cet égard M. Kapteyn dit que l'on a constaté que le coefficient d'adhérence était de 13 à 17 pour 100 pour des rails humides et de 20 à 24 pour des rails secs. On voit par là que si la *valve de friction* est combinée pour maintenir l'action du frein à 14 pour 100, par exemple, alors pour des rails secs on perd une quantité notable d'effet utile, laquelle peut être d'une grande valeur dans des circonstances exceptionnelles. C'est donc la variabilité des limites qui réduit le rôle d'action de cette valve, et, en pratique, l'application en a été supprimée, évitant aussi de trop grandes complications dans les appareils. — En dehors de ce qui a été indiqué, le frein Westinghouse n'a subi que de légères modifications. — En terminant, M. Kapteyn se permettra de dire un mot sur la question générale posée par M. le Président lorsqu'il disait qu'il serait intéressant de discuter dans cette assemblée le problème général des freins continus.

Il ne peut être question ici tout d'abord si tel système doit être préféré à tel autre, mais il semble qu'il s'agit avant tout d'établir les bases de la question et les éléments du problème à résoudre. Que l'on se rappelle que *bien poser une question c'est presque la résoudre.*

Tel but est atteint par tel mécanicien et celui qui se trouve en présence d'une difficulté, dresse avant tout son programme des différentes qualités que doit posséder la machine qu'il va construire.

M. Kapteyn espère que M. le Président voudra bien prendre en considération la voie qu'il vient d'indiquer, parce qu'il est persuadé qu'alors le problème se simplifiera beaucoup et mènera à une solution logique et aisée.

M. le Président rappelle que lors du Congrès du génie civil, en 1878, M. Marié avait résumé comme suit les qualités à exiger des freins continus :

1° Le frein continu doit être sous la main du mécanicien;

2° Il doit être aussi énergique que possible;

3° Le mécanicien doit pouvoir graduer à sa guise son énergie.

En dehors de ces qualités fondamentales, il est préférable qu'il possède aussi les deux suivantes :

a) Il est bon que le frein soit sous la main de tous les agents du train.

b) Il peut être utile qu'il soit automatique.

M. le Président demande si depuis lors l'ordre des qualités auxquelles doit satisfaire un bon frein n'a pas changé; il reviendra sur cette question; mais il donne, en attendant, la parole à M. Hardy pour exposer les perfectionnements apportés dans ces derniers temps au frein à vide, notamment en ce qui concerne l'automaticité.

Le frein à vide dit automatique, dont M. Hardy se propose d'entretenir la Société, présente l'avantage, à son point de vue, d'une grande simplicité qui lui fait surpasser tous les autres systèmes de freins automatiques.

Le moteur est un éjecteur d'une construction fort simple, semblable à celui du frein ordinaire non automatique, et créant un vide permanent de $0^{m},50$ de mercure.

Un robinet à trois voies sert à la manœuvre du frein par le mécanicien.

Les cylindres à vide, sauf une légère modification, sont semblables à ceux du frein non automatique; ils ont de côté un petit réservoir sur lequel est fixée la valve automatique, cette dernière se composant d'un simple clapet; un seul tuyau de la longueur du train avec des raccords femelles et mâles combinés pour joindre les conduites entre les véhicules; telle est toute la composition du frein automatique qui peut s'appliquer à tous les freins déjà existant aux véhicules.

Il n'y a donc ni machine, ni pompe à vapeur, ni valves purgeuses, ni valves à réduction, ni triples valves sujettes à dérangements et pouvant, en cas de malheur, nuire à la marche régulière des trains.

Ce frein est en usage journalier en Angleterre sur les chemins de fer du Great-Northern, du London et South-Eastern, Manchester, Sheffield et Lincolnshire.

Les conditions suivantes peuvent être remplies par ce frein :

1° Action automatique instantanée en cas de rupture d'attelage sur les deux parties du train;

2° Le frein peut être appliqué par le mécanicien, par le conducteur, et, en cas de besoin, par les voyageurs;

3° Le frein peut être réglé dans la descente des pentes à la volonté du mécanicien;

4° Le vide de $0^{m},50$, qui constitue la force motrice, peut être obtenu à chaque instant et n'importe quand en moins de 30 secondes, avantage que le frein à air comprimé ne possède pas;

5° Le fonctionnement du frein par le mécanicien ou tout autre agent est de la plus grande simplicité.

En ce qui concerne la deuxième condition, le frein à vide peut être appliqué par le conducteur au moyen d'un déclenchement électrique dont on se sert également sur le chemin de fer du Nord, et cela au moyen d'un

levier placé sur la chaudière de la locomotive communiquant en même temps avec la tige du clapet à vapeur de l'éjecteur, ainsi qu'une corde le long du train qui, étant tirée, fait agir le frein instantanément.

Cette modification ne complique en aucune façon le frein existant qui reste aussi simple qu'auparavant. On applique ce déclenchement en Angleterre sur le Great-Northern, sur le South-Eastern et autres lignes.

La condition que le mécanicien puisse se rendre compte si son frein est en bon état n'est pas, à notre avis, remplie par les freins automatiques, et moins encore après le serrage des sabots sur les roues, ce qui est un des points les plus essentiels d'un frein et qui, dans le frein à vide non automatique, existe parfaitement. La raison en est que, dans le frein automatique, l'indicateur au moyen duquel le mécanicien vérifie l'état de son frein, n'est en communication qu'avec les tuyaux au lieu de l'être directement avec les cylindres propres du frein, ce qui ne permet pas au mécanicien de se rendre compte de la pression ou force disponible existant dans son frein. Cela tient surtout aux valves automatiques qu'il est impossible de contrôler et qui souvent ne fonctionnent qu'au hasard.

Dans le frein à vide, au contraire, le mécanicien, pour savoir l'état de ses freins peut, au moyen de l'éjecteur, l'ouvrir un instant et voir si le vide se maintient, ce qui lui donne la certitude que ses freins sont en état de fonctionner.

Dans le cas où on désirerait démontrer ce procédé automatiquement, on peut se servir d'un petit éjecteur donnant un vide permanent de 4 centimètres dans les tuyaux, ce vide n'étant pas suffisant pour soulever les pistons des cylindres à vide, mais suffisant pour démontrer l'état du frein. Cet indicateur automatique est en usage en Angleterre sur les Compagnies du Great-Northern, Manchester, Sheffield, etc.

Le frein à vide n'a aucun des graves inconvénients que possèdent les freins automatiques, tels que : application du frein automatiquement, impossibilité de desserrer les sabots des roues, inconvénients et obstacles qui peuvent causer de graves accidents.

M. le Président pose cette question, qui a déjà été débattue à Londres : l'automaticité est-elle nécessaire ou désirable pour un frein continu?

M. Bandérali répond que cette question a occupé une séance entière du Congrès récemment tenu en Angleterre par l'institut des Ingénieurs mécaniciens, Congrès auquel il a assisté, sans que les convictions des adeptes ou des adversaires de l'automaticité aient paru ébranlées. Il serait, en tout cas, désirable d'éviter les arrêts intempestifs, très gênants sur les voies fréquentées, qui peuvent se produire par un dérangement du système. On a reproché au frein à vide simple des désaccouplements fortuits. L'emploi de deux tuyères à vide, et de deux tuyaux de conduite lui semble donc une garantie utile. Le frein à vide automatique se recommande par sa simplicité; il faut dire toutefois qu'il n'est encore appliqué en Angle-

terre qu'à l'état d'essai. Une récente circulaire du Board of Trade appelle l'attention des Compagnies de chemins de fer sur cette question, qui ne saurait manquer de faire de grands progrès d'ici à un an. Il faut noter qu'en Angleterre le tiers environ du matériel roulant à voyageurs est pourvu de freins, soit continus, soit sectionnels.

M. Bailly dit qu'en restreignant, comme on le fait souvent, l'utilité de l'action automatique, aux cas de rupture d'attelages, on lui assigne des limites beaucoup trop étroites. L'action automatique, présente des avantages nombreux et importants parmi lesquels, un des principaux, est de révéler aux agents toute avarie qui empêcherait le frein de fonctionner. S'ils n'ont point cette qualité, les freins continus sont une source de danger puisqu'ils ont pour résultat inévitable d'habituer les mécaniciens à compter sur des appareils qui, leur permettant de faire des arrêts très rapides, leur manqueront à un moment donné alors qu'ils en auront le plus besoin, parce qu'ils seront devenus caducs sans avertissement préalable.

M. Chobrzynski dit que les ruptures d'attelage sont un accident extrêmement rare pour les trains de voyageurs.

M. le Président demande à M. Georges Marié s'il a quelque chose à dire au sujet de l'automaticité.

M. Georges Marié propose la définition suivante de l'automaticité des freins continus.

L'automaticité se compose des trois qualités suivantes :

1° Faculté, donnée à tous les agents du train, de serrer le frein avec toute sa puissance;

2° Faculté, pour le mécanicien, de s'assurer, en pleine marche et à un moment quelconque, que le frein est en bon état de fonctionnement;

3° Serrage du frein, avec toute sa puissance, en cas de rupture d'attelage.

Tout le monde est d'accord pour reconnaître l'utilité des premières qualités; elles ont des avantages très grands sans présenter aucun inconvénient sérieux.

C'est sur la troisième qualité que tout le monde n'est pas d'accord.

On a souvent dit que cette troisième qualité avait peu d'importance, parce que les ruptures d'attelages étaient extrêmement rares dans les trains de voyageurs; c'est l'avis qui a été exprimé par M. Georges Marié au Congrès du Génie civil; depuis cette époque on a fait valoir les deux considérations suivantes :

Les partisans de l'automaticité ont fait remarquer que les ruptures d'attelages, très rares autrefois, deviendraient beaucoup plus fréquentes après l'application en grand des freins continus; en effet, les barres d'attelage, fréquemment soumises à des chocs, peuvent subir des commencements de rupture et se casser à un moment donné.

Les adversaires de l'automaticité ont dit que l'utilité de l'automaticité ne serait réelle que si on appliquait le frein automatique à tous les trains, y

compris les trains de marchandises; en effet, une rupture d'attelage se produisant dans un train de marchandises à la montée sépare le train en deux et la partie arrière peut venir rencontrer un train de voyageurs qui se trouverait derrière.

M. le Président trouve que ces deux nouveaux arguments ont peu d'importance; en effet, on a généralement soin de mettre une machine en queue des trains de marchandises pour monter les fortes rampes; quant aux ruptures d'attelages, on peut les éviter en renforçant les tendeurs, les barres d'attelage et les crochets.

M. Georges Marié n'attache pas non plus une grande importance à ces arguments nouveaux; en sorte qu'il maintient son ancienne conclusion, c'est-à-dire que la troisième qualité de l'automaticité lui paraît désirable, mais non pas indispensable.

M. Bandérali pense que la barre de traction continue doit être considérée comme un corollaire très utile de l'emploi des freins continus.

M. Delebecque émet l'avis que l'automaticité ne présenterait un réel intérêt qu'après l'adoption du bloc-system.

M. Kapteyn dit que l'automaticité ne se présente pas comme une idée nouvelle.

Tous les ingénieurs de chemins de fer ont tourné leurs efforts vers des appareils automatiques, notamment pour tout ce qui touche à l'établissement des signaux.

M. Marié a eu raison de dire que les ruptures d'attelages deviennent plus fréquentes, par suite des moyens d'arrêt plus puissants qu'on emploie. Il suffit de renforcer les attelages, comme on le fait en Allemagne.

M. Georges Marié désire faire une observation au sujet de la mise en pratique de l'automaticité.

Lorsqu'on emploie les freins dits automatiques comme les freins Westinghouse, Steel, Sanders, ou Hardy automatique, il faut prendre une précaution spéciale au moment où on sépare le train en deux, dans les gares, pour faire des manœuvres quelconques. Si l'on ne prenait aucune précaution, on serrerait tous les freins au moment où on défait les accouplements; les voitures seraient donc immobilisées, et les manœuvres des voitures à la main seraient impossibles.

Pour obvier à cet inconvénient, tous les constructeurs de freins automatiques ont mis un robinet au point de jonction de l'accouplement en caoutchouc et du tuyau qui passe sous la voiture. Avant de défaire l'accouplement, le manœuvre a soin de fermer les robinets des deux accouplements qu'il a entre les mains; de cette façon le frein est momentanément condamné et on peut découpler sans serrer les freins.

Mais si on oublie de rouvrir ces robinets au moment où on refait l'accouplement, le frein se trouve condamné dans toute la partie arrière du train, *et le mécanicien ne peut pas s'en apercevoir;* il croit avoir tout le frein à sa disposition et, en réalité, il n'en a plus qu'une partie.

Ainsi, les freins automatiques généralement employés n'ont pas la deuxième qualité que M. Georges Marié a citée tout à l'heure dans sa définition de l'automaticité.

Pour répondre à cette objection, M. Westinghouse a supprimé les robinets qu'il avait mis précédemment aux accouplements et les a remplacés par des soupapes automatiques situées dans les accouplements ; elles doivent satisfaire aux deux conditions suivantes :

1° Fermer l'entrée des accouplements lorsqu'on fait le découplement à la main.

2° Laisser l'entrée des accouplements ouverte lorsqu'il se produit une rupture d'attelage.

M. Georges Marié pense que M. Kapteyn pourra, bien mieux que lui, faire la description du nouvel accouplement à fermeture automatique.

M. Kapteyn donne la description du nouvel accouplement, dont le principe est de produire automatiquement l'ouverture ou la fermeture des robinets, qui se trouvent aux extrémités du tuyau porté par chaque wagon. C'est, on peut le dire, le dernier mot de l'automaticité.

M. Regnard, au sujet de ce qui a été dit précédemment, que l'automaticité était recherchée d'une manière générale par les ingénieurs, notamment pour les signaux, demande la permission de rappeler que telle n'était pas l'opinion de Perdonnet, le regretté professeur du cours de chemins de fer à l'École centrale. Il pensait que dans beaucoup de cas il faut se défier des appareils automatiques, qui endorment la vigilance des agents et peuvent, par la cause la plus fortuite et la plus imprévue, se trouver hors d'état de fonctionner au moment utile.

M. le Président remercie MM. Kapteyn, Hardy, Marié et Bandérali. Il propose, à l'exemple des ingénieurs anglais, d'attendre encore avant de se prononcer sur la question de l'automaticité d'une façon définitive.

Il prévient les membres de la Société, que M. Achard se met obligeamment à leur disposition pour faire quelques expériences, après la séance, sur le fonctionnement de son frein, dont il a apporté un modèle de grande dimension.

La séance est levée à onze heures.

MM. Bixby, de Brochocki, Decazes, Dufès, Raabe ont été reçus Membres sociétaires, MM. Denille et Joubert, Membres associés.

Séance du 16 Juillet 1880.

Présidence de M. Gottschalk.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 2 juillet est adopté, sous réserve de quelques observations de M. Hardy, qui, ne présentant pas d'arguments nouveaux, ne nécessitent pas de modification dans la rédaction.

M. le Président, avant de passer à l'ordre du jour, prononce les paroles suivantes :

Mes chers Collègues,

J'ai le triste devoir de vous annoncer la mort de M. Isaac Pereire, l'un de nos membres associés les plus illustres et un de ceux qui ont toujours témoigné le plus vif intérêt à notre Société.

Nous n'avons pas à nous occuper ici du grand financier qui a, notamment par la forme donnée aux emprunts en obligations à longue échéance, exercé la plus grande influence sur le développement rapide des chemins de fer par toute l'Europe; mais comme grand industriel et éminent économiste-organisateur. M. Isaac Pereire appartenait évidemment au génie civil et se plaisait à en faire partie.

J'ai à peine besoin de vous rappeler qu'il fut, avec son frère Émile, un des initiateurs des chemins de fer en France, par la création, dès 1835, des chemins de fer de Saint-Germain et de Versailles, auxquels il attachait, dès le début, son ami et notre grand maître M. Eugène Flachat.

Plus tard, administrateur d'un grand nombre de Compagnies de chemins de fer, il prenait l'une des plus grandes parts à la création et au développement du réseau national.

Mais non satisfait de ce vaste champ de travaux, auxquels il ajoutait encore, pour ne citer que les principales, les entreprises de la Compagnie parisienne du gaz, de la Société transatlantique et de l'embellissement de la capitale, etc., etc., il cherchait à étendre son infatigable activité hors de France.

C'est ainsi qu'il fondait, toujours avec son frère, en 1855, la Société

autrichienne des chemins de fer de l'État; en 1857, la grande Société des chemins de fer russes, et puis enfin la Compagnie du Nord de l'Espagne, tentant ainsi, pour l'influence et les capitaux français, une conquête industrielle et pacifique qui s'étendait depuis Madrid, au sud-ouest, jusqu'à Nijni-Novgorod, à l'extrême Orient de l'Europe.

Le nom de M. Pereire laissera une trace ineffaçable dans l'histoire des chemins de fer.

Un grand nombre d'entre nous ont trouvé des positions dans ces différentes entreprises qui leur ont permis d'exercer leur industrie et d'acquérir l'indépendance dans la noble et pénible carrière de l'ingénieur civil.

A tous ces titres, la perte de M. Isaac Pereire sera vivement ressentie parmi nos Collègues et je suis sûr d'être leur interprète en témoignant ici publiquement de la part que prend notre Société à la douleur d'une famille, dont la plupart des membres sont nos sympathiques Collègues.

M. le Président informe la Société que MM. Bixio, Cauvet, Pollack, Thouin et Yvon-Villarceau ont été nommés officiers de la Légion d'honneur et M. Mensier chevalier du même Ordre.

La parole est à M. Seyrig pour sa communication sur les résultats de l'enquête ouverte en Angleterre au sujet de l'accident du pont de la Tay.

M. Seyrig s'exprime comme suit :

Par une précédente note j'ai fait connaître à la Société l'ensemble des faits concernant l'accident arrivé au pont de la Tay, le 28 décembre dernier. Au moment de cette communication, un grand nombre de détails étaient encore inconnus du public et même des autorités qui s'occupaient de rechercher les causes du désastre. Peu à peu toutes les circonstances ont été connues et on peut dire qu'aujourd'hui la lumière s'est faite d'une manière complète, et que l'investigation dirigée par le gouvernement anglais a porté ses fruits.

C'est le résultat de cette investigation que je désire résumer devant vous ce soir.

J'ai eu l'occasion de vous signaler la nomination de la Cour d'enquête. Il n'est pas inutile de la rappeler ici. L'accident étant arrivé le 28 décembre, dès le 31 du même mois les autorités avaient reconnu la nécessité de donner à l'investigation le plus de poids possible et même d'éclat, afin de répondre à l'émotion publique qui était arrivée au plus haut degré. Mais, habitué aux mœurs libérales anglaises, le ministère (Board of Trade) jugea bon d'appeler à son aide des personnes non revêtues d'un caractère officiel. La cour d'enquête fut donc composée, en outre de M. Rothery, le commissaire royal (Wreck commissioner; commissaire des épaves), de MM. le colonel Yolland, inspecteur en chef des chemins de fer et W. Barlow, le Président, pour l'année 1880, de l'institution des Ingénieurs civils, ce dernier devant ainsi au suffrage de ses collègues (il venait d'être élu) l'hon-

..eur et la responsabilité de les représenter devant le gouvernement et devant l'opinion publique.

Les séances de cette Cour se tinrent à deux reprises sur le théâtre même de l'accident, et ensuite pendant trois semaines sans interruption à Londres. Le palais des Lords ne fut pas jugé indigne d'abriter une commission de semblable importance et c'est dans la maison du Parlement qu'eurent lieu les interrogatoires et les débats.

C'est aux deux Chambres qu'a d'ailleurs été présenté le rapport qui résume l'enquête ainsi faite.

Les membres de la Cour ont, comme de juste, trouvé bon de faire appel aux hommes dont le nom fait autorité dans la science, pour les éclairer sur tous les points spéciaux ou délicats soumis à leur jugement. Plusieurs ingénieurs des plus éminents ont renseigné la Cour sur les lois ou pratiques aujourd'hui suivies dans la construction des ponts métalliques. Sur le point le plus intéressant, celui du mode d'action et des effets du vent, on a invoqué le témoignage de l'astronome royal, M. Airy, du professeur Stokes et du chef du bureau météorologique, M. Scott. On a fait faire les essais des matériaux employés par M. Kirkaldy qui a la spécialité de ces épreuves, en Angleterre, et qui les fait avec un soin et une précision remarquables. Enfin, non contente de ces témoignages verbaux, la Cour avait chargé spécialement un ingénieur, M. Law, homme d'une grande expérience, de faire l'examen le plus minutieux de l'ouvrage dans sa partie tombée et dans celle restée debout, ainsi que de faire avec minutie les calculs de stabilité de la partie où est arrivé l'accident. Le rapport de M. Law est un des documents les plus importants de l'enquête et serait fort intéressant à analyser devant vous, si le temps ne manquait pour cela. Il a contribué dans une grande mesure à éclairer l'opinion des juges et ses résultats sont approuvés dans une large mesure par les conclusions de la Cour. Nous les résumerons donc en faisant connaître ces conclusions elles-mêmes.

Mais à côté de ces éléments d'appréciation, d'autres étaient fournis par les parties plus directement intéressées et que l'on serait presque tenté d'appeler les accusés. L'ingénieur à qui était dû le projet et qui avait la direction du travail, les entrepreneurs, la Compagnie du chemin de fer elle-même, avaient jugé nécessaire de se faire représenter devant la Cour par des avocats et des experts. Selon la coutume anglaise, chacun des avocats avait la faculté d'interroger les témoins, et ils en usaient largement, résumant, dans l'intérêt de leurs clients, dans un discours final, les arguments qui leur semblaient les disculper des graves accusations qui, peu à peu, se faisaient jour. Un contre-rapport, destiné à combattre celui de M. Law, était d'ailleurs présenté par deux hommes distingués, le D[r] Pole et M. Stewart, ce dernier ayant déjà, paraît-il, lors de la rédaction du projet, fait des calculs jugés suffisamment complets pour l'édification de l'ingénieur, sir Thomas Bouch.

Rien ne fut donc négligé pour que toutes les circonstances et causes de l'accident fussent complètement élucidées, et pour que toutes les parties

intéressées eussent l'occasion et la liberté de faire connaître leurs arguments. Aussi le jugement aujourd'hui porté a-t-il d'autant plus de poids et résume-t-il d'autant mieux tout ce qui a été acquis.

Nous allons chercher à résumer brièvement ce jugement.

Il faut, dès maintenant, indiquer cependant qu'il se compose de deux parties. Le premier rapport qui porte le titre de : « Rapport de la Cour, » n'est signé que de deux de ses membres, M. Yolland et M. Barlow. Le second, rapport de minorité, en quelque sorte, porte la seule signature du président, M. Rothery. Voici pourquoi ce double rapport : les instructions données à la Cour indiquaient, comme formant le sujet de l'investigation, les « causes qui avaient contribué à l'accident et les conditions dans lesquelles il s'était produit. » Aussi les membres non officiels du tribunal avaient-ils conclu de ce libellé qu'on ne leur demandait pas de désigner les personnes à qui incombait la responsabilité des fautes commises, si faute il y avait. M. Rothery se sentait, au contraire, appelé par sa position officielle à dire qui, selon lui, étaient les coupables. Tâche ingrate comme on le voit, mais à laquelle il a déclaré que son devoir ne lui permettait pas de se soustraire. La manière ferme et virile dont il s'est acquitté de cette tâche lui a valu l'approbation unanime, à notre connaissance au moins, de la presse et du public. On s'est très bien rendu compte de la position délicate des autres membres de la Cour, vis-à-vis de leurs collègues professionnels, et on ne les blâme en aucune façon de s'en être tenu strictement à la lettre de leurs instructions. Mais on rend justice aussi au sentiment courageux qui a animé M. Rothery quand il a cru nécessaire de dire que les circonstances n'étaient pas seules à blâmer, mais que la faute remonte directement à tel des directeurs de la construction, quelles qu'en puissent être les conséquences pour eux et pour lui.

L'accident étant arrivé pendant une tempête très forte, tout le monde désigna immédiatement la force latérale du vent comme étant la cause effective du renversement. Mais tandis que les uns supposaient que les piles s'étaient ou renversées en bloc ou effondrées sous la déformation, sir Thomas Bouch soutenait que le vent n'avait eu qu'un résultat, celui de faire dérailler deux wagons de queue du train. Ces wagons auraient frappé les grandes barres de treillis des poutres et causé leur destruction et leur chute. Le reste du pont aurait été entraîné successivement à la suite de cette première travée.

Cette hypothèse n'a pu tenir devant l'examen des faits. Aucune des barres de treillis — qui toutes ont été relevées — ne porte la marque d'une collision semblable, qui devait suffire pour les démolir. On a trouvé en quelques points que la peinture était enlevée et que quelques éclats de bois s'étaient implantés entre les tôles qui les composaient. On s'était empressé de télégraphier le fait à la Cour et aux journaux, mais vérification faite, ces marques se trouvaient en des points placés au-dessus de la partie la plus élevée du train et ne pouvaient être produites tant que le train n'avait pas été soulevé en bloc. Personne n'a soutenu que le vent pût produire cet effet,

et il est probable que c'est lors de la chute dans l'eau, où les wagons remplis d'air ont dû flotter quelques instants, que ces quelques marques se sont produites.

En partant du même point de vue, quelques défenseurs de M. Bouch ont émis d'autres hypothèses. Le Dr Pole admettait aussi un déraillement ou un renversement du wagon le plus léger, avant que la charpente du pont se fût mise en mouvement. Mais il concluait à un choc du train contre l'ossature et à un effet destructif provenant de l'annulation de la force vive contenue dans le corps en mouvement. Cette force vive aurait été détruite en premier lieu par les poutres, en second lieu par la pile. Ce n'était là cependant que la « dernière paille », (faisant allusion à un proverbe anglais qui dit que c'est la dernière paille ajoutée à la charge qui casse le dos du chameau). Le Dr Pole ajouta que, selon lui, pour être annulée, la force vive du corps en mouvement devait se transmettre sans aucune diminution, à la base des piles, où devait enfin se produire la rupture.

Un autre témoin, appelé par le conseil de M. Bouch, supposait que l'ensemble de la structure se trouvait, sous l'effort du vent, dans un état de tension intérieure considérable, que le moindre choc accidentel pouvait augmenter suffisamment pour amener la rupture. Selon ce témoin la rupture de deux barres de treillis au milieu d'une travée n'aurait pas suffi pour la faire tomber! Il s'appuyait pour cela sur ce fait que tout récemment il avait dû, dans un pont à peu près de même importance, tendre les barres de treillis centrales, qui s'étaient trouvées complètement lâches.

Laissons là ces diverses hypothèses, plus invraisemblables les unes que les autres. Elles n'ont rien prouvé, tandis que des faits bien constatés, appuyés par la logique et des calculs sérieux, ont permis d'établir avec une probabilité aussi grande qu'on peut le désirer, en l'absence de témoins oculaires, comment les choses se sont passées.

Je n'essayerai pas, Messieurs, de vous faire parcourir tous les résultats positifs de l'enquête. Les 19,600 à 19,700 questions posées et auxquelles on a répondu, quelquefois longuement, forment des volumes qu'il est intéressant de parcourir, non moins que les calculs et mémoires à l'appui des divers dires des intéressés. Nous pouvons heureusement condenser leur résultat ainsi que l'ont fait les commissaires eux-mêmes, dans un très petit nombre de lignes, et voici ce qui a paru reconnu jusqu'à l'évidence par la Cour :

1° Que les fondations n'ont montré aucune trace d'avoir cédé ;

2° Que le fer employé dans la construction est d'une bonne qualité moyenne, quoique peu ductile ;

3° Que la fonte était également d'une bonne qualité moyenne ;

4° Que les poutres étaient suffisantes et bien proportionnées ;

5° Que les piles métalliques étaient suffisantes pour la charge verticale qu'elles avaient à supporter, mais, qu'en raison de leur hauteur, elles n'étaient pas assez massives pour supporter les grandes poutres. Que les

contreventements et leurs attaches étaient trop faibles pour résister à un vent violent;

6° Que la qualité du travail des pièces constituant les piles était inférieure sous beaucoup de rapports;

7° Que la surveillance et l'inspection pendant le travail avaient laissé beaucoup à désirer;

8° Que la surveillance de l'ouvrage, après son achèvement, était insuffisante;

9° Que l'inspecteur, s'étant aperçu d'un manque de rigidité dans les contreventements deux mois avant l'accident, avait eu le tort de ne pas le signaler à l'ingénieur;

10° Que le ballottement des diverses pièces de ce contreventement, avant même l'inspection gouvernementale, c'est-à-dire avant l'ouverture du pont, était un indice certain de la faiblesse des piles;

11° Que malgré la recommandation de l'inspecteur du gouvernement, les trains circulaient avec une vitesse supérieure à 40 kilomètres par heure;

12° Que l'insuffisance des contreventements et de leurs attaches a été la cause de la chute du pont, et que des tempêtes antérieures avaient déjà affaibli la construction;

13° Qu'il semble que ces contreventements ont été les premiers à céder, mais qu'il est néanmoins possible que des colonnes aient été fendues au préalable, ce qui a également pu être une cause déterminante de la chute;

14° Que la chute a commencé par la portion sud où se trouvait le train, les autres travées ayant été successivement arrachées par la chute des premières;

15° Que l'étendue du désastre est le résultat de l'emploi de poutres continues, reposant sur des piles de la nature de celles employées.

Le rapport de M. Rothery, nous l'avons dit, est plus étendu et plus précis. Il ne diffère cependant qu'en un point essentiel d'avec ses collègues, en ce qui concerne la question technique. Il penche vers l'opinion que c'est la portion nord de la partie tombée qui a cédé la première. Sur tout le reste, la faiblesse des contreventements et de leurs attaches, la mauvaise exécution, etc., il endosse l'opinion de ses collègues, et renchérit sur eux, et voici enfin sa conclusion :

« La conclusion, dit-il, à laquelle nous sommes parvenus, est que ce pont a été mal conçu, mal construit et mal entretenu, que sa chute est due à des défauts inhérents à la construction qui, tôt ou tard, devaient conduire à sa destruction. Pour ces défauts de projet, de fabrication et de surveillance, sir Thomas Bouch est la personne principale à blâmer. » Après ce jugement si sévère, il est d'importance secondaire d'appeler l'attention sur le blâme également adressé aux entrepreneurs, aux inspecteurs et à la Compagnie. Mais le Board of Trade, ou autorité constituée pour la surveillance gouvernementale, dont dépend en réalité M. Rothery, n'échappe pas

à sa part de blâme. Son inspecteur, le général Hutchinson confesse que son examen a été superficiel et soutient que sa fonction consistait simplement à dire qu'il « ne voyait aucune raison pour laquelle l'ouvrage ne serait pas livré à la circulation. » Quant à revoir les calculs, à examiner toutes les causes de fatigue ou de destruction, telle n'a pas été sa fonction.

Quel sera le résultat de cette enquête? Un plus grand soin dans la reconstruction du pont, sans aucun doute. Mais on sent qu'il n'y a plus en cause que les personnes directement impliquées, et on a reconnu qu'il faut évidemment arriver à une surveillance plus sévère de la part des autorités. La question des efforts du vent sur les grandes constructions si fréquentes aujourd'hui, recevra une attention particulière et la Cour propose que le Board of Trade établisse des règles pour qu'on en tienne compte. Là est la dernière différence que je signalerai en terminant, entre les deux rapports. M. Rothery reconnaît l'urgence d'établir ces règles, mais il veut, quant à lui, laisser à la profession de l'ingénieur civil de les déterminer. Toute restriction pèse à l'Anglais et même, quand il fait partie du gouvernement, il préfère laisser aux autres leur liberté, quitte à faire peser ensuite sur l'individu les conséquences de sa négligence ou de son incapacité. Ce dont on peut être certain, c'est qu'il ne se passera plus longtemps sans que d'une façon ou de l'autre il y ait une règle universellement reconnue sur ce point comme sur tous les autres qui ont graduellement passé à l'état de loi. Je puis ajouter qu'il a été plus d'une fois reconnu au cours de la discussion combien nous étions, en France, en avance sur ce point particulier et il n'y aurait rien d'étonnant de voir adopter pour règle l'effort de 250 ou de 270 kilog. pour la pression du vent par mètre carré, qui forme depuis longtemps la base de nos calculs, lorsqu'il s'agit d'ouvrages d'art.

M. Mathieu ne voit pas qu'on se soit occupé des fondations dans cette enquête. La dislocation des piles, les mouvements observés notamment dans les pierres du couronnement des piles, semblent indiquer cependant qu'il a pu se produire des tassements qui seraient la cause première de l'accident.

M. Seyrig répond que c'est le premier point que la Commission d'enquête ait examiné, mais qu'elle a aussitôt reconnu qu'aucun tassement n'avait eu lieu; c'est à d'autres causes, comme il a été expliqué dans la première communication de M. Seyrig, qu'il faut attribuer les désordres survenus dans les maçonneries, dont les assises supérieures seules étaient intéressées par les boulons.

M. le Président, en remerciant M. Seyrig de sa communication, trouve qu'il est intéressant de noter que les ingénieurs anglais, après la minutieuse enquête qui a été faite, attribuent la chute du pont de la Tay précisément aux causes indiquées de prime abord par M. Seyrig dans sa première communication.

La parole est à M. Manoury pour sa communication sur l'extraction du sucre des mélasses et sur les sucrateries agricoles.

M. Manoury expose qu'en raison des exigences de l'ordre du jour, qui ne lui accorde qu'une demi-heure pour sa communication, il ne pourra qu'expliquer très sommairement les méthodes d'extraction du sucre des mélasses au moyen de la chaux et de l'alcool, ainsi que sa nouvelle méthode d'établissement des sucrateries agricoles. Parmi les inventeurs qui les premiers ont utilisé l'insolubilité du sucrate de chaux dans l'alcool en vue d'isoler le sucre contenu dans les mélasses, nous devons citer Nugues et Denimal (brevet de 1862), et Scheibler (brevet de 1865). Ces deux inventeurs ont échoué parce que chez l'un il y avait emploi de trop grandes quantités d'alcool, tandis que chez l'autre la préparation et la dessiccation du mélassate de chaux étaient trop coûteuses.

Le Dr Seyferth reprenant le procédé Scheibler en 1874, trouva moyen de préparer sans de trop grands frais du mélassate de chaux en faisant agir de la chaux anhydre en poudre sur la mélasse; il s'est présenté dans ce procédé différentes difficultés pratiques, qui amenèrent Drewermann, Weinrich, etc., à proposer des modifications qui n'ont pas rencontré beaucoup d'adhérents dans la fabrication du sucre.

Une série d'essais commencés en 1872 à la suite de la non-réussite du lessivage méthodique du mélassate de chaux à l'eau froide, conduisit M. Manoury à rechercher les liquides dans lesquels cette combinaison de sucre et de chaux est insoluble. Parmi ces liquides il donna la préférence à l'alcool dilué, mais il ne tarda pas à reconnaître à cette méthode des inconvénients résultant de la formation de sels de chaux qui, également insolubles dans l'alcool dilué, restaient avec le sucrate de chaux. Une longue série de recherches lui fournirent le moyen de les éviter en opérant de la façon exposée plus loin. Pour donner plus de clarté aux explications sur sa méthode M. Manoury divise les opérations qu'elle comporte dans l'ordre suivant :

1° Préparation de la mélasse à traiter;

2° Préparation de la chaux employée à la fabrication du mélassate;

3° Fabrication du mélassate sec et granuleux immédiatement lessivable par l'alcool dilué;

4° Élution du mélassate et distillation du sucrate obtenu;

5° Distillation des alcools chargés des impuretés de la mélasse;

6° Traitement du sucrate obtenu et avantages résultant de son emploi.

1° *Préparation de la mélasse à traiter.* — Chacun sait que la mélasse est formée d'une dissolution de sucre et de sels minéraux et organiques à bases alcalines, dont la présence empêche le sucre de cristalliser. Il s'agit donc, pour atteindre ce but, de séparer ces sels alcalins de la dissolution sucrée; pour y arriver nous nous basons sur le peu de solubilité des sucrates de chaux dans l'alcool dilué à 40° centésimaux.

Le procédé consiste donc à faire entrer le sucre de la mélasse dans une combinaison avec la chaux, laquelle étant peu soluble dans l'alcool à 40° sera facilement séparée. Seulement il est à remarquer que lorsque nous

mélangerons la chaux avec la mélasse, elle agira non seulement sur le sucre, mais encore sur les combinaisons à bases organiques, prendra la place de ces bases et donnera des sels de chaux qui, étant également peu solubles dans l'alcool à 40°, ne pourront par suite être séparés du sucrate de chaux. Pour éviter cet inconvénient la mélasse brute, si elle ne contient pas de glucose, sera additionnée de 1/2 pour 100 de chaux; si elle contient du glucose on calculera la quantité à mettre à raison de 0,3 de chaux par chaque unité de glucose. Le tout sera porté à l'ébullition pendant 20 minutes de façon à provoquer la formation des sels de chaux; au bout de ce temps d'ébullition on jettera dans la mélasse une quantité de carbonate de soude de Solvay suffisante pour décomposer tous les sels de chaux et les remplacer par des sels de soude, qui eux sont solubles dans l'alcool à 40° centésimaux et seront par suite facilement éliminés lors de l'élution.

2° *Préparation de la chaux.* — La chaux vive est étendue sur le sol en tas allongés et de peu d'épaisseur, et au moyen d'un jet d'eau que divise une pomme d'arrosoir, on répand l'eau uniformément sur les tas jusqu'à ce que la chaux *fuse* énergiquement, puis on cesse. Lorsque le dégagement de vapeur d'eau devient moins abondant on arrose encore une fois avec précaution les parties n'ayant pas reçu assez d'eau, puis on réunit le tout en tas. Le local d'extinction de la chaux doit être suffisamment grand pour tenir la provision de deux jours afin de n'employer que de la chaux refroidie.

3° *Fabrication du mélassate de chaux.* — La chaux réduite en poudre, comme il est dit précédemment, est amenée dans un réservoir de chaux en poudre en passant par un tamis qui sépare les pierres et incuits. Le réservoir de chaux est situé au-dessus d'un appareil mélangeur d'une construction particulière dans lequel la chaux en poudre est introduite en excès, c'est-à-dire en quantité double de celle nécessaire à la formation du mélassate. La chaux introduite, on fait arriver un poids donné de mélasse, puis on met l'appareil en mouvement; au bout d'une demi-minute on ouvre la porte de sortie, l'appareil restant en marche, la force centrifuge chasse le mélange au dehors, un élévateur amène ce mélange dans un bluteur qui sépare la chaux en excès des grains de mélassate; cette chaux revient dans le réservoir de chaux pour servir à une nouvelle opération.

4° *Élution du mélassate et distillation du sucrate obtenu.* — Les grains de mélassate, dont les plus petits ont 1 millimètre et les plus gros quelques millimètres d'épaisseur, sont très propres, sous cet état, à subir la macération à l'alcool dilué, car ils sont formés par de la chaux qui n'est pas complètement éteinte. Il en résulte que pendant la macération la chaux absorbe de l'eau, ce qui fait fendiller les grains et permet au liquide alcoolique de pénétrer jusqu'au centre. L'alcool dissout alors les sels de potasse et de soude et laisse les sels de chaux insolubles. L'opération du lessivage se

fait dans de grands vases cylindriques complètement fermés et portant un faux fond sur lequel sont placés les morceaux de mélassate. Ce faux fond est formé par une tôle percée de trous, laquelle est recouverte d'une toile métallique à trous très fins. Lorsque le lessivage est terminé, on fait égoutter l'alcool; seulement les grains de sucrate retiennent toujours de l'alcool que l'on ne peut recueillir que par distillation. On peut, par une disposition spéciale, procéder à cette distillation en faisant arriver la vapeur au-dessus et au-dessous du double fond, de façon à bien fondre la masse. L'alcool sort par une forte ouverture pratiquée dans les dômes de chacun des lessiveurs et va de là au condenseur. Des sorties de sucrate liquide quand il est débarrassé d'alcool sont ménagées au-dessus et au-dessous du faux fond, qui est mobile pour permettre le nettoyage.

Le sucrate liquide est reçu dans un réservoir d'où on le prend pour les besoins du travail ultérieur.

5° *Distillation des alcools chargés des impuretés de la mélasse.* — La distillation se fait dans une chaudière à distiller ordinaire, à fond plat serpentin et barboteur de vapeur; les vapeurs d'alcool sont condensées au moyen de condenseurs tubulaires ordinaires et le liquide alcoolique qui coule est classé suivant son degré dans un réservoir à deux compartiments, d'où il est repris pour servir à de nouvelles opérations. Le résidu liquide provenant de la distillation est conduit directement sur les champs ou bien est évaporé dans des fours à potasse.

6° *Traitement du sucrate obtenu et avantages résultant de son emploi.* — On peut employer le sucrate obtenu au chaulage des jus de betteraves, ce qui offre l'avantage de mettre dans les jus du sucre et de la chaux, au lieu qu'avec le lait de chaux on met de l'eau et de la chaux, donc économie d'évaporation, de plus épuration plus complète. Si on a à travailler le sucrate seul, on opère sa saturation dans une dissolution sucrée qui provient généralement du lessivage des filtres-presses. M. Manoury termine cette description en donnant quelques chiffres pratiques desquels il résulte que pour une mélasse ayant 50 pour 100 de sucre on peut retirer 40 à 43 kilogrammes de sucre dans le travail avec la betterave et 37 à 40 kilogrammes dans le travail direct de la mélasse.

Sucrateries agricoles. — M. Manoury aborde cette partie de sa communication en rappelant combien est intense, depuis quelques années, la crise agricole, et, selon lui, l'agriculture ne peut la vaincre qu'en sortant de la routine pour entrer dans la voie du progrès. Il est certain qu'aujourd'hui la culture des céréales seules ne peut être rémunératrice, il faut donc faire de la culture intensive et industrielle.

Aucune plante n'offre à ce point de vue de meilleures conditions que la betterave, qui fournit non seulement une marchandise très productive au point de vue financier, mais donne encore des résidus qui constituent des engrais excellents, une nourriture économique et d'une qualité indiscutée

tant pour l'élevage que pour l'engraissement des animaux employés en agriculture.

La culture de la betterave demandant beaucoup de soins, débarrasse le sol des mauvaises herbes, l'ameublit, de sorte que l'arrachage des betteraves effectué, on a une terre préparée pour recevoir du blé ou toute autre céréale sans grands frais. Ce court exposé montre combien est précieuse pour l'agriculture la culture de la betterave; aussi, ne saurait-on trop l'encourager en augmentant les débouchés offerts aux producteurs de cette plante. Ces débouchés, l'agriculteur ne les trouve actuellement que dans les sucreries et distilleries de betteraves; mais chacun sait combien sont grandes les difficultés pour maintenir la bonne harmonie entre le fabricant et le producteur de la matière première. La fourniture de la graine par le fabricant, la mauvaise qualité des betteraves provenant des graines du cultivateur, la *tare*, opération consistant à défalquer du poids des betteraves brutes la quantité de matières étrangères dont elles sont accompagnées, sont autant de sujets de querelles qui rendent extrêmement difficiles les rapports entre eux. En somme, la solution de la question est de faire produire au cultivateur de la betterave une matière qui, comme le sucre brut, puisse être vendue à l'analyse sur des bases connues et adoptées de tous les intéressés. Pour remplir ce but, M. Manoury propose la création de petites sucrateries agricoles organisées de la façon suivante: On extrait le jus de la betterave lavée au moyen des méthodes connues en choisissant les plus simples. Le jus obtenu est déféqué avec une quantité de chaux variant de 0,2 à 0,5 pour 100, suivant la qualité des betteraves, le jus clair qui en résulte est évaporé directement dans un appareil à effets multiples jusqu'à l'obtention de sirop à 35° Baumé. A ce degré, le sirop est susceptible de se combiner à la chaux demi-éteinte en poudre en se servant du même appareil mélangeur que pour la mélasse. Comme pour arriver à une granulation instantanée il a fallu mettre un excès de chaux, on fait subir au mélange un blutage qui sépare les grains de sucrate de la chaux en excès qui sert à une nouvelle opération.

M. Manoury soumet à la réunion un échantillon des grains de sucrate ainsi obtenus, il fait remarquer que l'on a affaire à un corps ressemblant à du sable, facile à ensacher et à transporter. Le cultivateur a donc là un moyen, tout en conservant les résidus de la betterave dans sa ferme, de solidifier la partie commerciale de la plante saccharifère et de vendre ainsi le sucre qu'elle contient. Un fait très important, constaté par M. Manoury, est que le sucrate ainsi préparé s'épure aussi bien après six mois de fabrication que le premier jour de sa production; on pourra donc créer des raffineries de sucrate qui achèteront le produit brut au cultivateur. Ces raffineries de sucrate feront l'épuration à l'alcool de la même façon que l'on opère avec le mélassate; seulement là l'épuration sera poussée assez loin pour que les masses cuites aient la pureté des masses cuites de raffinerie.

M. J. Armengaud jeune demande si M. Manoury a connaissance du procédé essayé à Brunswick par le docteur Seyforth.

M. Manoury répond que le procédé installé à Brunswick est celui du Dr Seyferth, qu'il se distingue de son procédé en ce que le Dr Seyferth emploie la chaux anhydre en poudre et ne fait subir à la mélasse aucune préparation. M. Manoury signale dans le procédé Seyferth les inconvénients suivants :

1° Le mélange de la chaux anhydre à la mélasse développe une température qui atteint 130 à 140° et va même quelquefois jusqu'à l'inflammation du mélange;

2° Cette haute température favorise la formation des sels de chaux et au bout d'un certain temps les mélasses provenant de ce travail ne peuvent plus être traitées avec le procédé Seyferth;

3° Emploi d'alcool à haut degré;

4° Durée trop considérable de l'élution, ce qui nécessite une grande dépense de matériel.

Ces inconvénients ont déterminé des fabriques ayant le procédé Seyferth à prendre le procédé Manoury qui les évite complètement.

M. Chabrier demande à M. Manoury si Rousseau n'a pas déjà traité la question des sucrates et sucrateries agricoles.

M. Manoury dit qu'en effet Rousseau avait proposé de séparer le sucre de la mélasse en la traitant au moyen de la chaux en poudre et il pensait que le précipité formé était du sucrate de chaux qu'il proposait d'ajouter aux jus de betteraves à la défécation. Un examen plus attentif du précipité fit reconnaître qu'il n'était pas plus pur que la mélasse, de sorte qu'au lieu d'avoir affaire à un sucrate on avait affaire à un mélassate. En ce qui concerne les sucrateries agricoles Rousseau avait proposé de transformer les sirops provenant des betteraves en sucrates de chaux, en traitant ces sirops par de la chaux en poudre, le sucrate précipité était alors retiré et desséché dans des étuves pour le rendre transportable. Ce procédé offrait les inconvénients suivants : 1° production d'un sucrate humide qu'il fallait dessécher; 2° ce sucrate ne contenant que 20 pour 100 de chaux était attaqué par l'acide carbonique de l'air et, par suite, il s'altérait en magasin au bout d'un certain temps; 3° Rousseau n'ayant aucun mode d'épuration directe d'un tel produit, était obligé de le saturer et avait à travailler des jus de la pureté de ceux des fabriques de sucre. M. Manoury rappelle que son procédé évite ces divers inconvénients et il ajoute que l'on doit une grande reconnaissance à Rousseau qui, le premier, a recommandé l'emploi de la chaux à hautes doses dans la fabrication du sucre et qui en agitant la question des sucrates comme il l'a fait, a certainement préparé l'avenir des méthodes aujourd'hui à l'ordre du jour.

M. Bourdin fait remarquer que le but de Rousseau était aussi d'affranchir l'agriculture des entraves qu'a signalées M. Manoury, et il est heureux d'entendre ce dernier rendre justice à Rousseau.

M. le Président fait ressortir l'importance du sujet traité par M. Ma-

noury, en présence surtout des modifications récentes de notre législation sucrière.

Il remercie M. Manoury d'avoir ainsi traité une question d'actualité et donne la parole à M. Raoul Pictet pour sa communication sur la chaleur et sur la théorie générale des machines frigorifiques.

M. R. Pictet s'exprime comme suit :

Messieurs,

La question que je désire développer devant vous aujourd'hui est certainement une des plus riches de la physique industrielle ; elle a été féconde en résultats touchant purement à la science, et a été le point de départ d'un nombre considérable de systèmes de machines, destinées à appliquer industriellement les principes révélés par la théorie.

La *production du froid* remonte aux temps anciens, si l'on n'envisage que le phénomène élémentaire, qui consiste à faire éprouver au toucher l'impression spéciale *du froid*, soit d'un abaissement de température. C'est le phénomène purement physiologique.

Tout le monde sait qu'une partie du corps mouillée et exposée à l'air éprouve cette impression *sui generis*.

L'impression du froid varie suivant l'agitation de l'air et suivant la nature du liquide employé.

Si l'on passe de la notion purement *subjective* du froid à la signification scientifique qu'on lui accorde aujourd'hui, on voit que tout changement d'état liquide à l'état gazeux d'un liquide quelconque est une source de froid.

La quantité de chaleur nécessaire à cette transformation peut être considérable suivant les liquides considérés, on l'appelle *chaleur latente de volatilisation*.

Les liquides jouissent de cette propriété remarquable de *prendre spontanément* et presqu'instantanément une certaine température correspondant à la tension des vapeurs qui agissent sur la surface libre de ces liquides.

Cette température est toujours la même pour une même pression et un même liquide.

Si l'on met dans un vase privé d'air une certaine quantité d'acide sulfureux anhydre par exemple, on verra que la température du liquide sera exactement de — 10° quand la tension des vapeurs fera équilibre à la pression atmosphérique.

Pour l'eau il faut chauffer le vase jusqu'à 100 degrés pour atteindre une tension semblable, pour l'éther sulfurique à 35° il entre en ébullition.

Enfin, chaque liquide a son *pouvoir volatil* spécial suivant sa constitution chimico-physique.

Étant admis que tout changement d'état liquide à l'état gazeux est une source d'absorption de chaleur ou de froid, il est facile de concevoir un dispositif qui produise d'une manière continue de basses températures ; on choisira un liquide volatil, on diminuera artificiellement la pression des

vapeurs qui agissent sur sa surface libre et on excitera ainsi son changement d'état, cause du froid.

Pour diminuer la pression des vapeurs il faut les soutirer par le jeu d'une pompe, et comme ces vapeurs ont une certaine valeur commerciale il ne faut pas les perdre en les abandonnant dans l'atmosphère. On les enverra dans un *condenseur* où, sous l'influence de la pression et de la température d'un courant d'eau ordinaire, on les reliquéfiera.

Le liquide formé pourra de nouveau servir une seconde fois et alimentera la marche des opérations.

En résumé la machine frigorifique élémentaire se compose de trois parties distinctes :

1° *Un réfrigérant* contenant dans l'intérieur un liquide volatil quelconque ;

2° *Une pompe* aspirant les vapeurs formées dans le réfrigérant et les comprimant dans le condenseur;

3° *Un condenseur* destiné à régénérer le liquide volatil et à alimenter l'évaporation qui se produit dans le réfrigérant.

Voyons maintenant quels sont les rapports théoriques qui existent entre la quantité de froid produit dans le réfrigérant et la *dépense* représentée par le fonctionnement de la pompe de compression.

Nous remarquerons d'abord que le travail de la pompe est la seule, l'unique dépense puisque la même quantité de liquide sert indéfiniment.

Nous formerons donc une équation physique contenant dans son premier membre *la quantité de froid produit* et dans son second membre le *travail de la pompe*. Ces deux membres ne sont pas deux identités, mais indiquent seulement la simultanéité des phénomènes physiques et *l'équivalence mécanique* du système employé.

C'est cette équation, sortie d'un dispositif industriel, qui nous a conduit à une foule de lois physiques liant entre elles toutes les *propriétés* des liquides volatils, dont nous dirons plus loin quelques mots.

Pour mettre ce problème sous une forme définie, appelons par les lettres suivantes les différents facteurs qui se présentent dans l'analyse.

λ *Chaleur latente du liquide volatil;* quantité de chaleur à fournir à 1 kilo de liquide pour le faire passer de l'état liquide à l'état gazeux.

c Chaleur spécifique du liquide.

δ Densité des vapeurs relativement à l'air.

1,293 Poids du mètre cube d'air.

$\frac{1}{274}$ Coefficient de dilatation des vapeurs.

t' Température du condenseur.

t Température du réfrigérant.

P' Pression dans le condenseur, ou tension maximum des vapeurs du liquide à la température t'.

P Pression dans le réfrigérant à la température t.

10,333 Pression atmosphérique.

Nous remarquerons qu'un kilogramme de liquide transformé en vapeur sous la pression atmosphérique occupe un volume V donné par l'équation :

$$V = \frac{1 \times (274 + t)}{1,293\,\delta \times 274} \text{ mètres cubes.}$$

Il faut comprimer cette masse gazeuse de la pression P à la pression P'.

Nous considérons trois périodes dans le fonctionnement du piston compresseur :

1° Le piston aspire les vapeurs sous une pression P.

Il reçoit une poussée dans le sens de son mouvement, le travail est positif;

2° Le piston arrivé à fond de course revient sur lui-même et comprime les vapeurs de la pression P à P' en suivant sensiblement la loi de Mariotte et de Gay-Lussac puisqu'il y a surchauffe de la vapeur; le travail est négatif;

3° Le piston continue sa course sous une pression constante P', celle du condenseur; le travail est encore négatif.

Il est facile de voir que le travail moteur de la première période annule exactement le travail résistant de la troisième période; ces travaux sont égaux et de signe contraire, ils se font équilibre; reste seulement le travail de la seconde période.

Si nous prenons la course du piston pour l'axe des x, nous voyons que pour toute position x du piston, la pression qu'il supporte est donnée par la relation :

$$Px = \frac{10,333\,(274 + t)}{1,293\,\delta \times 274 \times x}.$$

Or, le travail de compression de la seconde période est intégralement représenté par la somme de tous les éléments de volume dx multipliés par la pression correspondante, ce qui nous donne pour le travail T l'intégrale indéfinie :

$$T = \frac{10,333\,(274 + t)}{1,293\,\delta \times 274} \int \frac{dx}{x}.$$

Les limites de x sont, d'une part, le volume des vapeurs sous la pression P; d'autre part, le volume sous la pression P', donc l'intégrale définie sera

$$T = \frac{10,333\,(274 + t)}{1,293\,\delta \times 274} \int_{\frac{V}{P'}}^{\frac{V}{P}} \frac{dx}{x}.$$

et en intégrant :

$$T = \frac{10,333\,(274 + t')}{1,293\,\delta \times 274}\, l \left(\frac{P'}{P}\right).$$

Nous avons mis $274 + t'$ au numérateur, car la température indéterminée t doit, dans ce cas, se remplacer par celle de l'eau à la température du condenseur t'.

l signifie *logarithme népérien* du quotient des pressions. Tel est le travail de compression de la pompe lorsqu'elle aura comprimé 1 kilogramme de vapeur de la pression P à la pression P'.

Pendant que la pompe effectue son travail nous laissons retourner au réfrigérant un poids égal de liquide, soit 1 kilogramme. Ce liquide sort du condenseur à la température t', mais il ne s'évapore qu'à la température t, donc en se refroidissant de la température t' à t il cède :

$$c\,(t' - t) \text{ calories.}$$

Le froid produit est donc représenté dans le réfrigérant par la quantité :

$$\lambda - c\,(t' - t) \text{ calories absolues.}$$

Nous avons ainsi les deux quantités cherchées ; d'une part, le travail de la pompe, et de l'autre, le froid obtenu.

L'équation physique suivante en est la conséquence :

$$\lambda - c\,(t' - t) = \frac{10,333\,(274 + t')}{1,293\,\delta \times 274}\, l \left(\frac{P'}{P}\right).$$

Nous voyons par là que si nous admettons qu'il n'y a aucun rapport entre les chaleurs latentes et les chaleurs spécifiques des liquides, entre leur densité et leurs tensions maxima, nous sommes en droit d'obtenir autant d'équations physiques différentes qu'il y aura de liquides volatils différents. Il en résulterait que pour faire et produire une même quantité de froid, on dépenserait des quantités variables de travail mécanique et qu'ainsi certains liquides privilégiés seraient, *ipso facto*, plus avantageux pour les machines frigorifiques.

Hâtons-nous de dire qu'il n'en est rien, si l'on remplace dans l'équation physique les lettres par leurs valeurs, telles qu'on les trouve dans les brillants travaux de Regnault, on s'aperçoit que pour une même quantité de froid on doit dépenser une même quantité de travail mécanique.

Il y a donc des relations intimes entre les chaleurs latentes, les chaleurs spécifiques, les densités et les tensions maxima des liquides et de leur vapeur.

Ces relations sont autant de lois nouvelles [1].

En voici quelques-unes :

1° Les chaleurs latentes internes rapportées à une même température multipliées par le poids atomique du liquide donnent pour tous les liquides des produits constants ;

2° La cohésion atomique est la même pour tous les liquides ;

(1) Voir sur cette question, les articles publiés dans les *Archives des Sciences physiques et naturelles de Genève*. Janvier 1876, novembre 1878, octobre 1879.

3° La différence de la chaleur latente interne d'un liquide entre deux températures, multipliée par le poids atomique du liquide, donne un produit qui est indépendant de la nature du liquide et constant pour deux mêmes températures;

4° Les chaleurs latentes sont des multiples des chaleurs spécifiques;

5° Le coefficient de dilatation des liquides est une fonction simple de leur pouvoir volatil, etc., etc.

Il nous faut voir maintenant pourquoi ces coïncidences se présentent et pourquoi elles ne sont pas fortuites ni le résultat d'un pur hasard.

Dans ce but, jetons un coup d'œil sur l'ensemble des phénomènes thermiques :

Tout phénomène calorifique se passe dans un *corps*, il est donc indispensable d'envisager dès l'abord la constitution de la *matière*, puisque c'est dans ce milieu que se passeront les phénomènes à étudier.

On sait que la matière se présente toujours sous les trois formes uniques, état solide, liquide et gazeux, on sait de plus, par l'astronomie, que toute matière *s'attire*, et par la mécanique que l'*inertie* empêche la matière de prendre des vitesses infiniment grandes sous l'action de cette attraction dans un temps fini, c'est-à-dire que la *force vive* de la matière est le représentatif du *travail* des forces d'attraction.

Voilà les bases. Ajoutons encore que la transmission de la lumière et de la chaleur au travers des espaces interplanétaires fait admettre l'existence d'une autre matière appelée *éther*, dont la propriété fondamentale serait de présenter une *inertie* beaucoup plus faible que la matière dite *pondérable*. L'éther remplirait tout l'univers jusqu'aux limites les plus reculées de l'étendue.

Prenons un corps supposé simple, absolument irréductible en d'autres éléments et étudions ses trois états ainsi que les conditions de formation de ces trois états.

A l'*état gazeux*, ce corps se composera d'une infinité de particules appelées *atomes*, ces particules sont séparées les unes des autres par de grandes distances et restent ainsi sans action appréciable les unes sur les autres. Chaque atome est entouré d'une atmosphère d'éther qui l'accompagne partout dans son mouvement. Ce qui caractérise cette atmosphère d'éther, c'est que l'unité de volume (une fraction quelconque de millimètre cube) représente une quantité d'éther de plus en plus grande au fur et à mesure que l'on s'approche de la surface extérieure de l'atome, on peut dire par conséquent que la *densité* de l'éther croît rapidement plus on s'approche de l'atome et selon une fonction de la distance.

C'est le résultat de l'attraction de la matière pour l'éther et réciproquement de l'éther pour la matière.

A l'état gazeux tous les atomes d'un corps chimiquement simple sont en mouvement et ne possèdent que des mouvements de translation dans toutes les directions possibles.

L'*état liquide* est toujours le résultat d'une première condensation de l'état gazeux.

Considérons la condensation la plus simple possible. Deux atomes gazeux se rencontrent, les forces d'attraction les réunissent et ils se soudent ensemble.

Dans ce cas, l'analyse mathématique permet de suivre le *mouvement* dans ses moindres détails. En effet, les deux atomes qui entrent mutuellement dans le champ d'action de leurs attractions tendent à se rapprocher jusqu'au contact, mais ils entraînent avec eux leurs sphères d'éther et à mesure qu'ils se rapprochent, les sphères d'éther pénètrent l'une dans l'autre. Or nous admettons, et c'est là la base de notre théorie, que la fonction qui représente l'attraction de la matière pour l'éther *croît plus rapidement* que la fonction newtonienne qui représente l'attraction de la matière pour elle-même. (On sait que les travaux sur l'optique et notamment sur la double réfraction confirment entièrement cette hypothèse.)

Il arrivera donc un moment où les deux atomes sollicités par leur attraction mutuelle, éprouveront de l'éther environnant une contre-poussée égale et de sens inverse. Ils seront parvenus à une position d'*équilibre stable*. En effet, qu'on les éloigne ou qu'on les rapproche, ils tendent toujours à reprendre cette position et à s'y maintenir.

L'étude analytique de ce problème donne toutes les conditions nécessaires pour que cet équilibre ait lieu; l'interprétation de l'équation générale est possible dans le cas le plus général et comprend tous les cas qui peuvent se présenter physiquement.

Nous avons ainsi la première *molécule liquide* composée au *minimum de deux atomes du corps.*

Enfin, *l'état solide* résulte d'une condensation du liquide, nous l'envisagerons de même dans sa plus grande simplicité.

Deux molécules liquides ayant chacune son atmosphère d'éther (résultante des deux atmosphères des atomes gazeux) entrent dans leur champ d'action attractive. Elles se rapprochent et s'associent comme l'ont fait les atomes gazeux.

Ici encore il y a une position d'équilibre stable, mais cette position est plus complexe que la précédente.

En effet, la molécule liquide *est double*, elle a donc deux centres d'attraction.

Ces deux centres d'attraction agissent sur deux nouveaux centres d'attraction qui sont représentés par la seconde molécule liquide. L'analyse montre dans ce cas que la résultante peut se représenter par une force d'attraction et par un couple. Dans l'état d'équilibre stable, la position est donnée par la condition nécessaire que le couple s'annule et que la contre-poussée de l'éther soit égale à la force d'attraction des deux molécules liquides.

Nous arrivons ainsi à la première *molécule solide* composée au minimum de *quatre atomes gazeux.*

Avant d'aller plus loin, vérifions que les caractères distinctifs des trois

états des corps peuvent naturellement découler de cette structure intérieure.

Dans l'état gazeux constitué ainsi que nous l'avons dit, la loi de Mariotte s'applique rigoureusement tant qu'on néglige l'action réciproque des éléments gazeux ; l'*expansibilité* est nécessaire.

Dans l'état liquide, la mobilité des particules est absolue, car nous n'avons point trouvé de couple intervenant dans la position d'équilibre, mais la *densité du liquide* est au minimum *double* de celle du gaz, puisque chaque élément gazeux s'est doublé, le liquide doit conséquemment toujours gagner le fond des réservoirs dans lesquels il est en contact avec sa vapeur.

Le liquide se moulera sans difficulté dans toutes les capacités qui le contiendront.

Nous démontrerons plus loin toutes les propriétés particulières des liquides : tensions de vapeurs, etc.

Enfin, dans l'état solide, nous voyons apparaître *les couples;* toutes les molécules liquides qui se transformeront en solides prendront la même position d'équilibre que celles qui les ont précédées; toutes ces molécules liquides tendront par ce fait à se mettre dans des *positions parallèles.* Nous voyons par là que la structure naturelle de tout solide qui se *forme lentement*, sans choc ni circonstances troublantes, doit être la *structure cristalline.*

Il y aura autant d'axes de cristallisation qu'il y aura de molécules primordiales en position d'équilibre autour du noyau central formé par la première *molécule liquide.*

De plus, il est aisé de voir que lorsqu'un corps solide présentera une certaine dimension, toutes les particules constituantes seront *rigidement* liées les unes aux autres, car le moindre déplacement de ces particules développe, soit un couple, soit une force d'attraction toujours en sens contraire de l'effort que l'on exerce.

Ces forces ne se mettent en évidence que si le déplacement a lieu, de là la flexibilité, l'élasticité, etc., etc., toutes propriétés générales des solides, spécialement des cristaux.

Il serait trop long d'entrer sur ce terrain dans de plus amples développements, car cela nous obligerait à sortir du cadre qui nous est assigné.

Nous nous résumerons donc en disant que les trois états des corps de la nature s'expliquent par deux condensations successives et par l'action de l'éther qui permet l'équilibre stable dans les trois états. L'attraction newtonienne entre seule en jeu dans ces phénomènes sous le nom de *cohésion.*

Avant d'exposer nos définitions de *chaleur* et de *température*, nous constaterons un fait général dans les observations physiques, telles qu'elles se font aujourd'hui. Cette remarque est nécessaire pour éviter plus tard toute confusion.

Dans tous les phénomènes physiques et chimiques observés actuellement

dans les laboratoires, les températures ne sont connues que par l'intermédiaire des corps solides.

En effet, tous les *thermomètres en usage*, sans aucune exception, sont tous composés d'une enveloppe extérieure en métal ou en verre dans laquelle on introduit un liquide ou un gaz. On expose ces appareils dans certains milieux et on attend que *l'équilibre thermique* se soit établi entre les parois du réservoir et le liquide ou le gaz qu'il contient.

Les thermomètres métalliques donnent leurs indications directement.

Dans aucun cas on ne connaît la température d'un liquide ou d'un gaz sans l'intermédiaire obligatoire d'un solide.

Ce fait qui, au premier abord, paraît de peu d'importance, est pourtant capital dans l'étude qui nous occupe. C'est en effet pour cette raison seulement que nous commencerons l'exposé des phénomènes calorifiques par ceux qui se passent dans *les solides.*

Ainsi que nous l'avons dit, la molécule solide la plus élémentaire est composée d'au moins *quatre atomes gazeux* réunis deux à deux dans chacune des deux molécules liquides constituantes.

Prenons cette molécule solide dans l'état d'*équilibre stable* et en repos absolu, dans cette position spéciale où toutes les forces moléculaires et les réactions de l'éther donnent une résultante nulle :

Nous dirons que ce corps est au *zéro absolu des températures.*

Fournissons maintenant à cette molécule solide, au moyen d'un choc, une certaine quantité de travail mécanique, ce travail se décomposera en deux parties :

La première donnera à la molécule un mouvement de translation dans une direction quelconque et aussi dans certains cas un mouvement de rotation autour du centre de gravité.

La seconde déplacera les atomes gazeux de leur position d'équilibre et leur fera parcourir des trajectoires de forme elliptique autour de cette position d'équilibre.

Ne nous occupons pas pour le moment de la vitesse de translation qui anime le centre de gravité de la molécule solide, nous dirons simplement que ce mouvement ne constitue en aucune manière un phénomène calorifique, c'est un phénomène de changement de place dans l'espace.

Le *second mouvement essentiellement vibratoire constitue seul, dans notre hypothèse, le mouvement calorifique.*

La *chaleur* est uniquement le résultat de la manifestation des *forces moléculaires.*

On voit dès l'entrée que la *chaleur* est l'équivalence du travail et de la *force vive*, car il a fallu dépenser une certaine quantité de travail mécanique pour faire passer ces atomes de leur position d'équilibre stable à une position voisine. Cette quantité de travail représente exactement la valeur du *mouvement calorifique total.*

Quant à la *température*, voici notre définition :

Projetons sur la direction de toutes les forces moléculaires les chemins

parcourus par chaque atome depuis la position d'équilibre stable jusqu'à sa position finale après le choc, faisons la somme des espaces élémentaires : cette somme représente ce que nous appellerons dorénavant l'*amplitude de l'oscillation calorifique*, c'est la *température*.

On voit immédiatement que le produit de l'*amplitude de l'oscillation* par la *somme des forces moléculaires* représente la totalité de la quantité de chaleur fournie au corps.

Il résulte en conséquence que nous appellerons *chaleur spécifique* la somme des forces moléculaires d'une molécule solide.

La *chaleur* est un facteur du *second degré*, un carré, comme étant un produit d'un espace parcouru et d'une force.

La *température* est un facteur de *premier degré*, c'est l'espace parcouru par la force moléculaire totale.

La *chaleur spécifique* est aussi un terme de *premier degré*, c'est la somme des forces moléculaires de la particule solide.

Partant de ces bases et de ces définitions, il nous faut examiner comment vont se comporter ces atomes réunis dans une molécule solide, lorsqu'on leur fournit constamment de nouvelles quantités de travail mécanique, c'est-à-dire quand on active incessamment l'intensité du mouvement calorifique.

Nous savons que les forces moléculaires se composent des attractions moléculaires et de la réaction de l'éther qui s'oppose au contact des particules. Dès qu'on déplace les atomes de leur position d'équilibre, la résultante est la différence de ces deux actions, ou pour mieux dire la somme algébrique.

Admettons pour une première discussion que cette résultante *soit constante*, bien que l'amplitude de l'oscillation calorifique varie dans de certaines limites, cela revient à dire que la *chaleur spécifique* du corps est invariable (par définition).

Les principales lois qui découlent de là sont les suivantes :

1° *La température d'un corps solide est proportionnelle à la quantité de travail qu'on lui a fournie ;*

2° *Un corps solide perd une quantité de chaleur égale à celle qu'il faut lui fournir lorsque sa température s'abaisse ou s'élève entre deux limites fixes de température ;*

3° *L'augmentation de volume d'un corps solide est proportionnelle à l'augmentation de sa température et réciproquement ;*

4° *Si, entre deux limites de températures, la chaleur spécifique du corps solide vient à varier, les changements de volume varieront aussi et dans le même sens ;*

5° *Pour différents corps solides la température produite par la même quantité de travail mécanique transformée en chaleur sera en raison inverse des chaleurs spécifiques ;*

6° *L'équivalent mécanique de la chaleur sera constant pour tous les corps solides.*

On peut tirer une foule d'autres conclusions de l'équation dynamique fondamentale qui résulte du problème posé comme nous venons de l'envisager. Nous ne mentionnons que les plus connues et celles dont on connaît déjà les vérifications expérimentales.

Avant d'aller plus loin, il nous faut étendre les définitions de *chaleur* et de *température* à un corps solide tout entier, composé de la réunion de plusieurs millions de molécules solides semblables à celle que nous avons étudiée.

Dans ces nouvelles conditions, la *chaleur* sera toujours l'expression du mouvement vibratoire moléculaire total, et la *quantité de chaleur* du corps la totalité de *travail* absorbé par le corps; mais le calcul de la propagation des vibrations calorifiques dans le corps solide, montre que toutes ses vibrations ne sont point *identiques* dans toutes les molécules simultanément.

Il se passe dans ce mouvement oscillatoire des phénomènes d'interférence analogues à ceux que l'on étudie en acoustique et en optique.

Les molécules pondérables sont en activité dans un milieu absolument élastique, aussi l'influence d'un choc, d'une pression, d'une force extérieure quelconque développera des *amplitudes d'oscillation* bien différentes dans une portion du solide que dans une autre.

Certaines oscillations sont très grandes, d'autres très petites, et la parfaite élasticité des milieux maintient d'une manière presqu'indéfinie ces variations dans les *températures moléculaires*.

C'est l'*amplitude moyenne* de toutes ces oscillations élémentaires qui sera la *température* du corps.

Tout ce que nous avons dit sur ce premier corps solide peut se répéter pour les autres, indépendamment de leur nature chimique, il suffit d'admettre que tous les *corps tombent avec une égale vitesse sur la terre*, ce qui nous donne la relation bien connue :

$$M = \frac{P}{g}.$$

Les masses atomiques M sont proportionnelles à leur poids, c'est là le lien qui rattache tous les phénomènes thermiques aux phénomènes chimiques et mécaniques.

En effet, de cette relation et des prémisses que nous venons d'exposer on déduit directement la loi de Dulong et Petit sur les chaleurs spécifiques et les poids atomiques.

Nous venons d'exposer les définitions exactes des mots *chaleur* et *température*, nous pourrions immédiatement envisager sous ce nouveau point de vue les phénomènes de changements d'état des corps; mais on sait que ces transformations sont des exceptions aux lois établies pour les corps solides. Pendant la fusion, l'introduction d'une grande quantité de chaleur laisse la température invariable, de même dans la vaporisation. Nous avons donc

à considérer, dans ces changements d'état, les rapports qui existent entre le travail mécanique effectué, la température et la quantité de chaleur fournie. Ces rapports constituent, dans leurs plus vastes acceptions, *les deux principes fondamentaux de la thermodynamique.*

Nous allons les déduire d'une manière élémentaire de nos conditions de départ, puis ces deux théorèmes nous serviront constamment ensuite dans l'étude des changements d'état, spécialement dans les lois des tensions des vapeurs des liquides volatils.

Rien n'est plus intéressant dans l'histoire de la science contemporaine que de suivre l'introduction progressive des deux principes de la théorie mécanique de la chaleur. On voit deux courants d'idées absolument différents naître dans des conditions complètement étrangères l'une à l'autre, se rencontrer tout à coup sur le terrain expérimental, et cette rencontre est si bizarre, si inattendue, qu'elle est considérée, encore à l'heure qu'il est, comme fortuite et accidentelle par un grand nombre d'hommes s'occupant spécialement de ces questions.

Quelques développements nous paraissent indispensables pour relever d'une manière bien frappante ce dualisme scientifique en matière de chaleur.

Au commencement du siècle on s'empara des idées de d'Alembert et l'on admit la *conservation de l'énergie* dans l'univers, avec l'impossibilité du *mouvement perpétuel.*

Ce principe de la transformation des forces ou de l'équivalence mit plus de quarante ans à faire son chemin, il devait conduire Ydule et Rankine à déterminer l'équivalent mécanique de la chaleur. Ce furent ces idées qui guidèrent Sady Carnot et Clapeyron à rechercher, par le calcul, les conditions d'intégrabilité d'un mouvement intérieur moléculaire.

C'est ici que se dessinent nettement les deux tendances auxquelles nous faisons allusion.

Poursuivant les problèmes de la chaleur uniquement par les moyens de l'analyse mathématique, Sady Carnot et ses successeurs, MM. Clausius, Dupré, Briot, Zeuner, Hirn, etc., etc., ont établi les relations nécessaires qui doivent exister entre une certaine quantité de chaleur fournie à un corps et les modifications concomitantes dans la pression et le volume de ce corps. Les conditions d'intégrabilité de l'équation différentielle fondamentale donnent une nouvelle fonction entre le volume et la pression du corps, lesquels deviennent ainsi variables solidaires.

Cette fonction serait, d'après ces savants, *la température;* ce serait l'expression physique de ce lien révélé par l'analyse.

Mais on sent que cette marche est *inductive*, le terrain n'est pas *solide*, et c'est uniquement par les vérifications expérimentales que ces théories ont été admises sans qu'il ait été encore possible d'établir un point absolument continu entre l'expérience et la théorie.

Dans le même temps, un homme illustre, Regnault, dotait la science d'une série continue et admirablement exacte d'observations minutieuses sur tous les éléments qui constituent la connaissance des phénomènes ther-

miques : les chaleurs spécifiques, les dilatations, les tensions des vapeurs, les comparaisons de tous les thermomètres employés, etc., etc.

Dans ce laboratoire productif et fécond en documents de la plus haute importance, on ne voit pas un seul instant figurer la thermodynamique comme méthode d'investigation, c'est uniquement l'expérience et le résultat de l'expérience interpolé avec toute la rigueur possible.

Or, les définitions de la *chaleur* et de la *température*, telles qu'elles ressortent des travaux de Regnault, n'ont aucun point commun avec celles que les analystes ont données ; les unes sont essentiellement arbitraires, les autres sont des traductions libres de formules, fournies par le calcul.

Malgré ces divergences, l'accord est complet.

Jamais théorie n'a reçu de sanction plus éclatante que la théorie mécanique de la chaleur vérifiée par les expériences de Regnault.

Nous ne sommes point sceptique et n'admettons nullement que cette coïncidence soit le résultat du hasard, mais nous avons toujours trouvé que la méthode analytique, qui a conduit à un résultat aussi juste et aussi positif, suit une série de raisonnements *parallèles* aux phénomènes physiques sans les serrer d'assez près. Il est impossible de distinguer la valeur exacte et rigoureuse des termes qui figurent dans les équations générales, car on termine l'étude par des *définitions*, alors qu'elles doivent être la base du calcul.

C'est surtout cet écueil que nous avons cherché à éviter autant que possible en définissant, dès le début, les mots et les termes dont on se sert, et c'est en conservant à ces mots de *chaleur*, de *température* et de *chaleur spécifique*, leur acception convenue, que nous allons démontrer les deux principes fondamentaux de la thermodynamique.

Nous donnerons ces démonstrations de la manière la plus élémentaire possible, afin de permettre une compréhension continue des phénomènes physiques considérés.

Premier principe.

Nous avons un kilogramme d'un corps solide dont le poids atomique est p.

Nous pouvons donner à ce corps la forme que nous voulons, sans modifier ses propriétés calorifiques. Supposons, en conséquence, que nous disposions toutes les molécules de ce corps le long de l'axe OX.

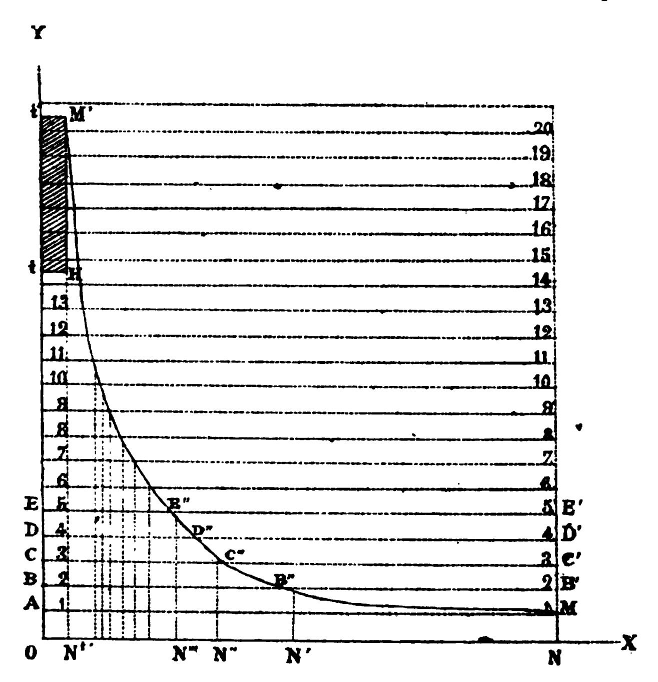
Ces molécules seront au nombre de n, dont la valeur numérique est donnée par la relation

$$n = \frac{1}{p}.$$

Elles occupent dans cette disposition une longueur linéaire ON prise sur l'axe des X.

Supposons aussi que la *chaleur spécifique* de ce corps, c'est-à-dire, par définition, la *somme* des forces moléculaires soit égale à l'unité F.

Nous pouvons diriger arbitrairement cette force F, pourvu qu'on la conserve constante durant toute la durée des phénomènes thermiques.



Afin de représenter graphiquement les mouvements des particules du corps solide placé sur la droite ON, admettons que ces molécules soient au repos absolu, c'est-à-dire au zéro de l'échelle des températures.

Nous communiquerons à ce poids d'un kilogramme une certaine quantité de travail mécanique égale à une unité arbitraire, nous la choisirons égale à 431 kilogrammètres pour la faire correspondre à 1 calorie, selon les définitions usuelles.

Toutes les molécules placées sur ON vont entrer en vibration, mais comme nous connaissons le travail fourni et la somme des forces moléculaires intérieures égale à F, nous en déduirons l'*amplitude moyenne* des oscillations de ces molécules.

Pour plus de clarté, nous supposerons que les molécules vibrent dans une direction perpendiculaire à l'axe des X, parallèle par conséquent à l'axe des Y. Nous dirigerons la force F dans le même sens et la longueur $\overline{OA}$ représente l'amplitude moyenne des oscillations du corps après qu'on lui a fourni 431 kilogrammètres.

Comme l'espace parcouru par les molécules est parallèle à la force F, le produit de cet espace par la force représente le travail consommé par le mouvement vibratoire. Ainsi le rectangle OAMN a une surface équivalente à 431 kilogrammètres.

La longueur d'oscillation OA correspondant aux oscillations des molé-

cules de l'unité de poids quand elles ont absorbé l'unité de travail mécanique, seront pour nous l'*unité des températures*, puisque la *chaleur spécifique* est aussi l'unité F.

OA *est donc* 1 *degré de l'échelle rationnelle des températures.*

Si nous fournissons au même corps une nouvelle quantité de travail égale à la première, nous vérifions aisément que F étant constant, l'amplitude moyenne des oscillations doit être double aussi.

Cette amplitude d'oscillation est devenue égale à $\overline{OB}$, double de $\overline{OA}$.

Le rectangle OBB'N représente 2 fois 431 kilogrammètres, soit 2 calories.

En continuant à fournir de nouvelles quantités de travail à ce corps, les oscillations calorifiques prendront des amplitudes de plus en plus grandes, et l'on aura les rectangles OCC'N, ODD'N, etc., etc., qui représenteront successivement 3, 4, 5, etc., calories.

Ainsi, *les longueurs d'oscillation*, soit les *températures*, seront proportionnelles à la quantité de travail mécanique fourni au corps ON.

Réciproquement, supposons que le corps ait des oscillations moyennes dont l'amplitude est égale à OE. Soutirons du travail mécanique à ce corps; les oscillations diminueront progressivement d'amplitude au prorata du travail extérieur qu'elles ont effectué et après avoir fourni 431 kilogrammètres, elles seront réduites à une longueur égale à OD.

Voilà la démonstration du premier principe qui *lie entre elles les quantités de travail et les quantités de chaleur fournies ou enlevées à un corps solide.*

Second principe.

Considérons maintenant un problème différent.

Demandons-nous combien on pourra produire de travail mécanique *avec une calorie*, lorsque cette calorie est disponible à une température t' et que l'on fait chuter la température de t' à t.

Nous admettons naturellement l'inégalité :

$$t' > t.$$

Pour résoudre ce problème, il faut au préalable exposer clairement ce que l'on entend par l'expression : *chaleur disponible* à une certaine température.

Qu'est-ce qu'une calorie à 1 degré, à 2 degrés, à t degrés?

Une calorie, c'est toujours, et quelle que soit la température, une certaine quantité de travail égale à 431 kilogrammètres.

En quoi la notion de *température* influence-t-elle la valeur d'une calorie?

Elle ne fait qu'indiquer le *poids* de la matière en mouvement.

En effet, si l'on regarde, planche IV, figure 1, ce que c'est qu'une calorie à 1 degré, on voit qu'elle est représentée par n molécules du corps vibrant avec une longueur d'oscillation égale à OA. Une calorie à 2 degrés sera évidemment, et sans qu'il puisse y avoir d'autre interprétation, *la moitié de deux calories à deux degrés.*

Or, 2 calories à 2 degrés sont représentées par le rectangle OBB'N, ainsi *une calorie à deux degrés* sera figurée par le rectangle OBB''N', moitié du précédent.

Il est évident que la surface de ce rectangle est équivalente à une calorie si l'on pose :

$$ON' = \frac{ON}{2} = \frac{n}{2} \text{ molécules.}$$

Donc, dans ON' il n'y a que la moitié des molécules du corps en jeu.

Une calorie à 3 degrés sera de même représentée par le rectangle ODD''N'' équivalent à 1 calorie, mais il n'y aura que le tiers du poids du corps qui sera soumis à l'action calorifique.

D'une manière générale, une calorie à t degrés sera exprimée par un poids égal à

$$\frac{n}{t} \text{ molécules,}$$

oscillant avec une amplitude moyenne égale à

$$\overline{OA} \times t = \text{longueur d'oscillation.}$$

Ces conditions nous prouvent *qu'il est impossible de faire intervenir la notion de température dans les expressions de quantités de chaleur, sans y faire entrer implicitement les poids du corps dont les molécules sont en mouvement.*

Ces préliminaires bien établis, revenons au problème proposé.

Nous avons une calorie disponible à la température t'.

Nous voyons sur la figure qu'elle est représentée par le rectangle $Ot'M'N''$. Sa surface est égale à 431 kilogrammètres, et l'on a

$$\overline{ON''} = \frac{n}{t'} \text{ molécules.}$$

La longueur des oscillations de chacune de ces molécules est également à Ot'.

Nous faisons chuter la température de t' à t, cela revient à réduire l'amplitude des oscillations de la longueur Ot' à la longueur Ot moindre. Pendant cette modification nous avons dégagé du travail mécanique; chaque molécule considérée au début de l'expérience a abandonné une petite quantité de travail, et la somme de ces travaux élémentaires est représentée par le rectangle ombré sur la figure $tt'M'H$.

Telle est la *quantité de travail maximum* qu'une calorie pourra fournir, quand on la fait descendre sans perte d'une température supérieure t' à une autre quelconque inférieure t.

Or, il est facile de calculer la surface de ce rectangle $tt'M'H$.

Elle est égale à

$$\overline{ON''} \times F \times (\overline{Ot'} - \overline{Ot}) \text{ kilogrammètres.}$$

Remplaçons $\overline{ON}''$ par sa valeur $\frac{n}{t'}$ et posant l'égalité

$$\overline{Ot'} - \overline{Ot} = (t' - t)\overline{OA}.$$

Nous avons, pour la valeur de ce rectangle en kilogrammètres :

$$\text{Surface } tt'M'H = 431 \frac{t' - t}{t'} \text{ kilogrammètres,}$$

t' et t sont exprimées en fonction de OA comme unité et représentent les températures absolues.

Nous venons de démontrer le second principe mécanique de la chaleur et son expression algébrique ordinairement usitée en conservant à tous les termes leur signification ténorisée au début de cette étude.

Nous remarquerons en passant que, pour transformer en travail la *totalité* de la chaleur disponible à une température quelconque, il est nécessaire d'amener au repos absolu les particules du corps qui contient cette chaleur, donc il faut donner à t la valeur O.

Cette remarque fait bien sentir la profonde différence qui existe entre le premier et le second principe de la théorie mécanique de la chaleur.

Tout ce que nous venons de dire du corps ON peut se répéter pour un corps quelconque ayant une autre valeur pour sa chaleur spécifique et un autre poids atomique; en effet, les formules auxquelles on parvient éliminent entièrement ces facteurs, les quantités de travaux fournis sont uniquement fonction des températures et des quantités de chaleur disponibles.

On peut également prouver que les variations des forces moléculaires, dont la résultante est F en fonction des températures, ne modifient en aucune façon les conclusions que nous avons déduites dans l'exemple choisi, c'est-à-dire que les variations de la *chaleur spécifique* sont indépendantes du second principe mécanique de la chaleur.

Revenons maintenant au corps solide auquel on fournit constamment de nouvelles quantités de chaleur. Nous savons que les amplitudes des oscillations iront constamment en augmentant : quand elles auront atteint un certain maximum égal pour tous les corps, le solide *fondra*. Il nous faut suivre les différentes phases de ce phénomène, qui est capital en physique.

Nous savons que la *température* du corps est l'amplitude moyenne des oscillations calorifiques, cela suppose forcément, ainsi que le calcul l'indique, qu'il y a des oscillations les unes plus grandes, les autres plus courtes dans le corps. Or, d'après ce que nous venons de dire, il est certain que les molécules qui seront sous l'influence des oscillations *les plus longues* fondront les premières.

Nous appellerons *interférences positives* ces oscillations maximales qui dépassent la moyenne exprimée par la température.

La *fusion* ou la *désagrégation* du solide se caractérise par le fait que les molécules constituantes vibrent avec une telle violence qu'elles sortent de leur sphère d'action attractive, les couples sont détruits et les molécules

deviennent libres. La fusion s'opère donc toujours à *l'extrémité extérieure* de l'oscillation calorifique, et cette oscillation *est la dernière;* à partir de ce point les deux molécules se lâchent réciproquement, emportant avec elles comme *potentiel* tout le travail mécanique qu'on leur a communiqué pour opérer la fusion.

Mais, puisque les molécules qui fondent sont animées d'oscillations maximales supérieures à la température moyenne du corps, chaque molécule en fondant emporte une certaine quantité de force vive qu'il faudra restituer au corps si l'on veut que la fusion continue. C'est là la cause de la *chaleur latente* de fusion, quantité de chaleur qui représente le *potentiel du liquide*.

Tous les solides présentent des conditions analogues à leur point de fusion, c'est une *loi générale.*

Quand la dernière particule du solide est fondue, si l'on continue à fournir de la chaleur au liquide, la température s'élèvera aussitôt, puisqu'il n'y aura plus de changement d'état et que cette chaleur pourra être utilisée à augmenter l'amplitude des oscillations des molécules liquides.

Les mêmes raisonnements nous conduiront à l'étude du changement des liquides en vapeur. Seulement ici le problème se complique, car les variations de pression jouent un rôle prépondérant. Afin de rendre visibles les phénomènes physiques qui se passent pendant le changement d'état de liquide en gaz, nous supposerons que l'on introduise dans un réservoir absolument privé d'air une certaine quantité de liquide quelconque, de l'eau par exemple.

La glace a été fondue et le liquide est maintenu à une température supérieure à 0°.

Nous savons que les *interférences positives* des oscillations calorifiques ont amené la fusion de la glace, ce sont elles aussi qui seront la cause de la vaporisation de l'eau.

Ces interférences positives se produisent dans tous les points du liquide à la surface comme en son milieu, avec des degrés infinis d'intensité dans l'amplitude des oscillations calorifiques.

Les interférences maximales doivent séparer les atomes gazeux réunis dans la molécule liquide et les mettre en liberté.

Le nombre de ces interférences maximales dépend de la température du liquide et de la nature de ce liquide.

Tous les atomes gazeux qui se forment dans le sein du liquide sous l'influence des interférences maximales, se reconstituent en liquide sous l'influence inverse des interférences minimales qui sont en nombre égal; elles sont donc sans effet sur la production des vapeurs. Il n'en est pas de même des interférences maximales qui se passent *sur la surface libre du liquide.*

Toute molécule désagrégée abandonne dans l'espace qui domine le liquide et que nous avons supposé absolument vide, au minimum un atome gazeux,

car l'autre atome (dans le cas le plus simple) peut être conservé dans le liquide sous l'influence d'une décomposition voisine et d'une interférence négative.

Ainsi, à chaque interférence positive qui a été suffisamment énergique pour décomposer une molécule liquide, un atome gazeux est lancé dans l'espace au-dessus de la surface.

On peut calculer, en se basant sur l'expérience, que pendant une seconde et sur une étendue d'un décimètre carré, il s'échappe plusieurs millions d'atomes gazeux de la surface de l'eau à 15°.

Tous ces atomes, entièrement libres, sont projetés constamment les uns après les autres; ils épuiseraient promptement la quantité de liquide introduite si l'espace dans lequel ils peuvent se répandre était considérable et si l'on rendait constamment au liquide sous forme de chaleur la force vive consommée par ces interférences et cette vaporisation, quantité de chaleur qui se nomme *chaleur latente* de vaporisation.

Que deviennent ces atomes gazeux lorsqu'ils sont confinés dans un espace restreint ?

Ils viennent choquer les parois du récipient qui sont elles-mêmes soumises à l'action de la chaleur. Chaque molécule solide oscille sous l'influence de la température du réservoir et la force vive de ces oscillations se communique promptement aux vapeurs de manière à amener l'équilibre thermique.

Si l'on ne considérait que ce phénomène de désagrégation, la pression P qui agit contre les parois du réservoir *deviendrait infinie*, car à chaque instant de nouvelles quantités d'atomes sont projetées hors de la surface libre du liquide.

Mais sur cette surface libre, un nombre considérable d'atomes viennent exercer leur choc, et tous ceux qui tombent sur des interférences négatives sont retenus dans le liquide, puisqu'ils ont perdu pendant le choc une trop grande quantité de force vive pour pouvoir sortir du champ d'action de l'attraction moléculaire.

Nous avons ainsi deux phénomènes en présence, l'un consiste dans la désagrégation du liquide ou *vaporisation*, l'autre est la reconstitution *du liquide* ou *condensation*.

Au début de l'expérience, nous avons supposé le vide absolu sur le liquide, le second phénomène, *la condensation*, est donc impossible; il faut que le premier seul se produise, de là la nécessité absolue d'une certaine tension de vapeur à *n'importe quelle température*.

Lorsque le nombre d'atomes qui retournent dans le liquide par la condensation est égal au nombre d'atomes qui ont été évaporés dans le même temps, la pression est devenue *maximum*, car si on la suppose plus forte, pour un instant, la condensation l'emportera sur l'évaporation ou *vice versa*. Ainsi la pression P, qui correspond à la tension maximum d'une vapeur quelconque, est liée au nombre d'interférences positives et négatives qui se produisent dans un liquide, donc à la *température de ce liquide;*

elle est liée aussi aux forces moléculaires intérieures, donc à la *chaleur spécifique*.

Maintenant si nous cherchons quels doivent être les changements de la valeur de P quand on ne fait varier que la température du liquide, nous avons tous les éléments qui sont nécessaires pour les calculer.

Nous savons que la désagrégation est le travail mécanique effectué par la *chaleur latente* fournie, nous connaissons le nombre d'atomes par la densité du gaz et du liquide, et nous savons par le second principe quel est le maximum de travail que l'on peut sortir d'une calorie quand on fait descendre la température du corps sans chute, d'une valeur supérieure à une autre inférieure. Nous n'avons donc qu'à exprimer le travail fourni par le changement de P et de V en fonction du second principe et en fonction des quantités de chaleur fournies, nous sortirons de cette équation dynamique la valeur de la variable P en fonction de l'autre variable *t*.

Ainsi nous voyons par l'ensemble des considérations précédentes que toutes les propriétés physiques des liquides sont mises en jeu dans le changement d'état de ces corps.

Nous trouvons ainsi *la cause* de ces relations intimes entre le poids atomique, la chaleur spécifique, la chaleur latente, la température.

La question n'est plus le résultat de spéculations analytiques seulement, elle reste sur le terrain de la physique expérimentale.

C'est là le point essentiel que nous désirions atteindre, c'est de suivre les phénomènes physiques au sein même de la matière où ils prennent naissance et où ils produisent les effets observés.

Nous voyons donc que la production du froid est entièrement indépendante de la nature du liquide employé, elle n'est fonction que de *l'écart des températures* que l'on veut obtenir et des quantités de chaleur à soustraire.

Quant à la pratique, il est nécessaire de faire un choix rationnel et motivé d'un liquide volatil.

Bien que théoriquement ils soient tous sur le même pied, la compression des vapeurs dans un cylindre se fait plus facilement si l'on observe les règles générales suivantes :

Les compresseurs donnent le maximum de rendement quand ils fonctionnent entre la pression atmosphérique et une pression finale qui ne dépasse pas trois à quatre atmosphères.

Pour les pressions très faibles, un demi, un quart ou un dixième d'atmosphère, les soupapes d'admission deviennent paresseuses et le rendement diminue.

Pour les pressions dépassant cinq atmosphères, les fuites intérieures autour du piston, à travers les soupapes et l'influence des espaces nuisibles, affaiblissent également sensiblement le rendement.

Les liquides employés doivent être purs, homogènes, non inflammables; enfin, ils doivent, si possible, être lubrifiants pour éviter l'introduction

continue de graisse et de corps étrangers dans la machine, substances qui peu à peu doivent diminuer le rendement de l'appareil.

Toutes ces conditions sont absolument remplies par l'*anhydride sulfureux*, c'est pourquoi nous avons cherché à le fabriquer d'une manière industrielle et que nous l'employons maintenant dans nos appareils frigorifiques. Le manomètre indique exactement la pression atmosphérique quand la température du réfrigérant est de — 10°, température la plus convenable pour la fabrication de la glace, tandis que la pression au refoulement ne dépasse guère 3 atmosphères avec de l'eau à 25 degrés.

Voici quelques modèles de machines frigorifiques, l'une, celle de Harrisson, marche à l'éther sulfurique, une autre de Carré, marche aussi à l'éther sulfurique, celle de Tellier est à l'éther méthylique.

. Ces liquides diffèrent de l'acide sulfureux par leurs tensions maxima trop faibles et trop fortes, et par l'inflammabilité qui est une cause de danger.

Nous invitons cordialement, en terminant cette communication, tous les membres de notre Société à visiter nos installations des glacières de la Seine, où fonctionnent deux machines frigorifiques à acide sulfureux, dont l'une est d'une production de 1,100 kilogrammes de glace à l'heure.

M. J. Armengaud jeune s'excuse de prendre la parole à une heure aussi avancée, mais sans aborder la discussion de l'intéressante communication de M. Raoul Pictet, il croit devoir présenter quelques courtes observations que motivent autant l'importance du sujet que les études auxquelles il s'est livré lui-même, depuis 1872, sur la production industrielle du froid, et qui l'ont conduit à une théorie complète des machines frigorifiques. La plupart de ces études ont été communiquées à la Société qui leur a fait un bienveillant accueil.

Dans sa communication, M. Pictet a envisagé à la fois le côté théorique et le côté pratique de la question.

C'est à ces deux points de vue qu'une observation utile peut trouver sa place aujourd'hui.

En premier lieu, M. Armengaud dit que s'il ne peut accepter sans réserves les hypothèses ingénieuses que M. Pictet a exposées sur la constitution moléculaire des corps, il est heureux de se trouver en parfait accord avec lui en ce qui touche la connexité intime qui existe entre les lois de la physique et celles de la mécanique. Toutefois, si les considérations que M. Pictet a émises sur ce point offrent quelque nouveauté dans la forme séduisante où il vient de les présenter, il convient de dire qu'on retrouve les mêmes idées développées tout au long dans presque tous les ouvrages traitant de cette nouvelle science à laquelle on a donné le nom de Thermodynamique. Parmi ces ouvrages il faut citer la *Théorie mécanique de la chaleur*, par M. Zeuner, qui a résumé si clairement les découvertes des Carnot, Mayer, Joule Hirn, Regnault, Clausius et autres mathématiciens et physiciens qui ont contribué à l'édification de cette admirable science.

C'est dans un des chapitres de ce traité, source si féconde pour les ingénieurs qui veulent travailler d'après les nouvelles idées, que M. Armengaud a puisé les éléments qui l'ont conduit à une démonstration toute simple et toute rationnelle du principe posé par lui, pour la première fois, dans le mémoire présenté au Congrès du Génie civil en 1878. Ce principe, que M. Pictet déduit de ses formules, est: que théoriquement le choix du liquide volatil est indifférent pour la production artificielle du froid.

Pour cette démonstration M. Armengaud rappelle qu'il lui a suffi d'établir qu'une machine frigorifique n'était en réalité rien autre qu'une machine thermique renversée. On peut alors lui appliquer la formule :

$$T = 425 \times M \times L \times \frac{t' - t}{t + 273},$$

425 et $\frac{1}{273}$ sont respectivement les chiffres qui sont adoptés généralement pour mesurer l'équivalent mécanique de la chaleur et le coefficient de dilatation des vapeurs, valeurs que M. Pictet représente par 431 et $\frac{1}{274}$. L est la chaleur latente du corps volatil.

T donne le travail en kilogrammètres qu'exigent l'aspiration et la compression de M kilogrammes du liquide volatil pendant une seconde entre les températures extrêmes t' et t. Si l'on rapporte le travail à l'unité de froid engendré, il faut diviser l'expression T par $M \times L$, produit qui mesure le nombre de calories négatives produites. Le rendement est donc donné par la formule :

$$F = 425 \times \frac{t' - t}{t + 273}.$$

On voit par cette formule d'où se trouve éliminée l'expression L de la chaleur latente, que la nature du liquide employé comme agent frigorifique importe peu, et que, pourvu que la différence des températures extrêmes soit la même ainsi que la température d'évaporation t, tous les systèmes de machines frigorifiques devraient théoriquement fournir la même quantité de froid pour une même quantité de travail mécanique, en un mot, avoir le même rendement.

Mais en pratique, comme il est expliqué dans le Mémoire du Congrès, et comme l'a très bien développé M. Pictet tout à l'heure, une foule de considérations pratiques permettent de décider du choix du liquide volatil à employer. C'est au sujet de ce choix que M. Armengaud croit nécessaire de dire quelques mots qui se rattachent plus spécialement à la seconde partie de la communication de M. Pictet.

Si l'on traçait un historique complet des progrès accomplis relativement à la production industrielle du froid, on constaterait que l'indication de presque tous les liquides employés comme agents frigorifiques, y compris

l'acide sulfureux anhydre, remonte à plus de vingt ans. On les trouve cités dans les brevets de MM. Carré et Tellier. Il est à remarquer cependant qu'au nom de chaque inventeur de machine s'est attaché le nom du liquide qu'il employait de préférence. C'est ainsi que l'éther sulfurique a été préconisé par Perkins et Harrisson, la solution ammoniacale par M. Carré, l'éther méthylique par M. Tellier, l'ammoniaque pure par MM. Linde et Fixary, l'acide sulfureux anhydre ou dioxyde sulfureux par M. Pictet, et plus récemment le chlorure de méthyle par M. Vincent. Il n'y a pas lieu de parler des machines frigorifiques à air que leurs principaux inventeurs Kirck et Windhausen ont complètement abandonnées.

Dans chacun de ces systèmes, l'auteur exalte les qualités de son agent frigorifique de prédilection. Or, tout récemment, un chimiste distingué dont le décès prématuré a été annoncé à la Société, M. Tessié du Motay, en collaboration avec M. Rossi, ingénieur et membre de cette Société, a eu l'idée de combiner dans une même machine les avantages de deux corps volatils, l'éther d'une part, et l'acide sulfureux ou l'ammoniaque de l'autre. Leur but a été surtout de diminuer la tension élevée à laquelle il faut comprimer les vapeurs pour les ramener à l'état liquide, en faisant intervenir la puissance d'une affinité chimique pour faciliter cette liquéfaction.

Dans la nouvelle machine à liquide binaire, l'éther moins volatil que l'acide sulfureux, joue, par rapport à ce dernier, le rôle d'absorbant et en détermine le passage de l'état gazeux à l'état liquide sous une faible pression, et sans nécessiter une eau très froide pour la condensation. Les trois premières machines construites d'après ce principe par la grande maison Delamater, de New-York, ont donné des résultats très remarquables.

M. Armengaud termine en ajoutant que des transformations de machines à éther en machines à liquide binaire vont avoir lieu bientôt à Paris, et qu'il s'empressera de faire connaître par des chiffres d'expérience les résultats de l'application pratique de ce nouveau système, dont il n'a fait qu'indiquer le principe aujourd'hui.

M. Pictet répond quelques mots à la communication de M. Armengaud.

Dans les ouvrages de thermodynamique auxquels M. Armengaud emprunte sa formule, le second principe est appliqué directement à l'étude des vapeurs sans que la compréhension physique en soit possible, on trouve la coïncidence mais on ne l'explique pas. C'est justement pourquoi, par deux méthodes toutes différentes, M. Armengaud et M. Pictet sont arrivés à deux formules identiques.

En remerciant M. Armengand de sa communication, M. Pictet fait observer que si l'acide sulfureux a été mentionné dans quelques brevets, il n'a pas été question de l'*acide sulfureux anhydre*, ou *anhydride sulfureux* dont les propriétés sont totalement différentes de l'acide sulfureux ordinaire qui est absolument impropre à la production du froid vu ses affinités chimiques pour les métaux.

M. Pictet pense que dans une machine binaire à acide sulfureux et éther

sulfurique, c'est l'acide sulfureux seul qui est l'agent de la production du froid. Des expériences, datant de plus de trois années, touchant cette question, confirment cette manière de voir.

M. le Président remercie M. Pictet de son intéressante communication et de l'empressement qu'il a mis à la faire dès son admission.

Les membres nouvellement admis sont : MM. Cerbelaud, Collignon (F.), Cochelin, Dony, Féray, Michau, Pictet, Siméon et Westinghouse. Comme membres associés : MM. Chandelier, Willett et Raux.

CHRONIQUE

SOMMAIRE. — L'École polytechnique fédérale de Zurich. — Le pétrole en Russie. — De la détente la plus avantageuse dans les machines à vapeur. — A bas l'éther. — Les locomotives sans foyer. — Les chemins de fer aériens à New-York. — Le tunnel du Saint-Gothard.

L'École Polytechnique fédérale de Zurich. — Au sujet de la question de la réorganisation de l'École polytechnique fédérale de Zurich, la Société Suisse des ingénieurs et architectes, et la Société des anciens élèves de l'École polytechnique de Zurich, ont présenté au conseil fédéral un mémoire collectif, dont nous croyons devoir signaler quelques points. Les signataires demandent qu'il soit fait à la langue française une part plus large dans l'enseignement de l'École polytechnique, en insistant d'une part sur l'importance qu'ils attachent à ce que chaque élève soit en état de suivre avec fruit des cours en allemand et des cours en français, d'autre part exprimant le désir que les chaires de l'École ne fussent pas fermées aux professeurs de talent de la Suisse romande par la seule raison qu'ils ne pourraient enseigner en allemand.

Il y a d'ailleurs un motif d'ordre tout pratique qui porte à insister sur l'importance du français au point de vue de la culture générale, savoir la perspective que, par suite des grands projets de M. de Freycinet, les ingénieurs étrangers trouveront plus facilement que par le passé à se placer en France. C'est ce qu'a eu le plaisir de constater le bureau de placement organisé par la Société des anciens élèves de l'École polytechnique.

Le mémoire examine ensuite l'importante question des deux systèmes, liberté des études et études obligatoires; sans être partisans d'une liberté absolue sans contrôle, les signataires désirent que les étudiants des volées supérieures aient plus de latitude dans le choix des cours à suivre, car c'est ainsi seulement qu'on conjurera le danger du morcellement des sciences techniques en spécialités n'ayant entre elles aucun lien commun, danger inhérent à l'organisation actuelle de divisions absolument distinctes.

On doit considérer comme indispensable d'améliorer l'organisation de toutes les écoles industrielles suisses. Cette amélioration est non seulement nécessaire au point de vue de la préparation à l'Ecole polytechnique, mais elle est d'une impérieuse nécessité pour ces établissements considérés en eux-mêmes comme devant fournir une somme déterminée de connaissances né-

cessaires et suffisantes à leurs élèves pour les carrières que ceux-ci veulent embrasser en sortant de ces écoles. Bien que ces écoles cantonales ne soient pas placées sous l'autorité de la confédération, les cantons doivent comprendre qu'il est de leur intérêt de mettre le programme de leurs écoles en harmonie avec celui qui serait nettement formulé pour l'admission à l'École polytechnique. Si on se montre sévère pour l'admission, l'École comptera peut-être moins d'élèves. Mais si les écoles suisses du second degré relèvent toutes le niveau de leurs études, l'élément national sera tout aussi fortement représenté. Quant aux étrangers, l'expérience a prouvé que ceux qui sortent d'écoles françaises, allemandes ou d'une bonne école autrichienne pourront encore à l'avenir se présenter sans crainte aux examens d'admission. L'école perdra, il est vrai, ces étrangers qui, sans culture générale, préparés tant bien que mal en quelques mois sur les spécialités mathématiques exigées par le programme d'admission, ont pu jusqu'à présent se faufiler dans les volées inférieures. La présence de cet élément a été jusqu'ici pour l'école une plaie qu'aucune statistique ne peut dissimuler et qui subsistera aussi longtemps qu'on ne changera pas complètement le système actuel des examens d'admission.

Ce n'est pas sur le terrain aride de la statistique comparative du nombre d'étudiants que l'École polytechnique de Zurich doit rivaliser avec les établissements de l'étranger. Si en Autriche et en Allemagne les examens d'État ont pour résultat de créer en faveur des écoles polytechniques de ces pays une sorte de monopole, l'École suisse ne peut concourir avec celles-ci qu'en formant les meilleurs techniciens et elle n'y réussira que si les élèves arrivent à l'École avec la préparation la plus complète. Mais pour le pays aussi, dont le commerce et l'industrie souffrent de la dureté des temps et de la politique douanière des États environnants, il est d'un intérêt primordial que l'établissement national ne l'inonde pas d'un prolétariat technique qui, dès qu'il survient une crise, se trouve sans aucune ressource, parce que le défaut absolu de toute culture supérieure et générale lui ferme l'accès de toute autre carrière. Ce n'est que par l'union la plus intime des sciences techniques et de l'industrie que nous parviendrons dans les prochaines années à maintenir le pays au rang qu'il a occupé jusqu'ici; il faut donc prendre garde que les jeunes talents de la génération qui s'élève ne soient pas trop gênés dans leurs études et qu'ils ne soient pas étouffés par un nombre trop considérable de mauvais élèves qui à la longue, exercent même sur le professeur le mieux qualifié, une action déprimante et rabaissent le niveau de son enseignement.

Les sociétés signataires du mémoire manifestent la crainte que le Conseil fédéral ne juge pas utile que l'élément technique soit fortement représenté dans le Conseil chargé de la haute direction de l'École polytechnique. Il y a en effet une opinion contraire à cette admission de l'élément technique et qui s'appuie sur les raisonnements suivants.

L'existence de l'École dépend essentiellement d'une autorité politique, l'Assemblée fédérale, qui lui fournit les moyens financiers dont elle a

besoin. Or, comme, depuis quelques années, les recettes de la Confédération sont restées au-dessous des dépenses, et que la perspective du rétablissement de l'équilibre s'éloigne toujours plus, tandis que les besoins de l'École vont grandissant, on conclut que ses intérêts seront mieux sauvegardés si les membres du Conseil de l'École font partie de l'Assemblée fédérale, au sein de laquelle ils pourront exercer leur influence en faveur de l'établissement. On fait valoir également des considérations plus générales. Un bon administrateur n'a pas besoin de connaissances spéciales, celles-ci conduiraient souvent au contraire à l'étroitesse de vues; enfin il serait préférable de remettre la responsabilité de la direction à un seul homme auquel il faudrait en conséquence accorder une influence décisive, non seulement sur l'organisation de l'établissement, mais encore sur le choix des collaborateurs qui doivent l'assister dans sa tâche.

Les sociétés signataires réfutent ces arguments ; si, disent-elles, les techniciens ne peuvent la plupart du temps prendre une part bien active aux affaires publiques, cependant on voit les plus distingués d'entre eux s'intéresser avec autant de vivacité que de vraie intelligence à la prospérité de la patrie, ce qui vaut certes autant que l'ardeur que d'autres consument dans les luttes passionnées et si souvent stériles de la politique de parti. L'exemple de ces hommes prouve que c'est la plus injuste des banalités que de prétendre que la possession des connaissances spéciales et la largeur de vues sont deux choses qui s'excluent.

Il va sans dire qu'en ce qui concerne la direction d'un établissement supérieur d'instruction, un administrateur de talent possédant une culture générale étendue, devra être préféré au spécialiste enfermé dans le cercle étroit de sa spécialité. Mais les résultats obtenus par plusieurs écoles polytechniques étrangères dirigées sans exception par des hommes spéciaux et dont quelques-unes ont laissé derrière elles celle de Zurich, montrent que les sciences techniques et les sciences naturelles exactes qui s'y rattachent ont produit un grand nombre de talents organisateurs de premier ordre. L'histoire de l'enseignement technique n'a pas de gloire comparable à celle de l'illustre Monge, créateur de la géométrie descriptive, enseignant au milieu des professeurs et des élèves de l'École polytechnique de Paris qu'il avait fondée. Et il en est de même pour les autres branches de l'enseignement supérieur. On verra rarement à la tête d'une université un homme qui n'aurait pas lui-même fait des études dans une université, et les meilleurs recteurs ont toujours été ceux qui ont eux-mêmes puisé à la source de la science. Jamais, pour citer un exemple, il n'a été fait pour une université plus que par le profond philosophe W. de Humboldt, qui fut le foyer intellectuel de l'université de Berlin qu'il avait fondée. Et Bonitz, le conseiller ministériel, qui lui-même avait enseigné dans un gymnase, que n'a-t-il pas fait pour les gymnases prussiens?

On doit faire remarquer que pour l'École de Zurich, dans les divisions les plus fréquentées, l'enseignement a une base commune, les mathématiques, la physique et la chimie. Or, celui qui est versé dans ces sciences et

c'est le cas de tous les techniciens cultivés, sera, mieux qu'un autre, en état de comprendre les applications qu'en font les arts industriels et aura, mieux que tout autre, l'intelligence complète de l'enseignement polytechnique basé sur ces sciences. C'est ainsi que l'ingénieur-constructeur comprendra facilement ce qu'il faut au mécanicien et celui-ci ce dont le chimiste a besoin. Tout montre que le développement continu de l'École exige le concours d'hommes capables d'en comprendre l'enseignement et les besoins jusque dans les détails.

Les signataires résument leur opinion de la manière suivante :

Les techniciens suisses demandent, non pas qu'il leur soit accordé l'honneur, mais qu'il leur soit imposé le devoir de participer à la direction et de contribuer à la prospérité de l'École nationale.

Le pétrole en Russie. — Un mémoire du docteur Bil indique que l'abondance du pétrole, dans la région du Caucase, est telle que la Russie peut en fournir toute l'Europe. L'Amérique du Nord a deux mille puits exploités dont la moitié sont déjà à peu près à sec. La production moyenne officielle, entre 1860 et 1875, a été de 625,000 tonnes par an. En 1875, il y avait dans le Caucase soixante-dix-huit puits donnant 105,000 tonnes; la production annuelle d'un puits du Caucase serait donc triple de celle d'un puits américain. De plus, dans le Caucase, les puits ne descendent pas à plus de 60 mètres, tandis qu'aux États-Unis il faut aller à 300 et 400 mètres de profondeur.

Comme qualité, le pétrole russe est supérieur, il ne contient pas de goudron et donne plus de lumière. Trois types de pétrole américain ont donné à poids égaux 1,000, 1,075 et 1,140 unités de lumière, tandis que trois types de pétrole du Caucase donnent respectivement 1,250, 1,350 et 1.395 unités de lumière. Le pétrole d'Amérique s'enflamme généralement à 30 degrés centigrades, ce qui est beaucoup trop tôt. Quant au pétrole russe, les expériences de l'auteur lui ont fait constater qu'il n'a pas de température fixe d'inflammation ; cela tient à ce que les fabricants cherchent à reproduire autant que possible la densité des pétroles d'Amérique. Or, le point d'inflammation dépend, non du poids spécifique, mais de la température de vaporisation.

Les conclusions de l'auteur sont, que le système de distillations répétées usité dans les fabriques russes est mauvais, que la distillation doit être basée sur la température de vaporisation et non sur le poids spécifique, enfin que la plus basse température d'inflammation doit être de 38 degrés centigrades.

(*Bulletin de la Société impériale technique de Russie.*)

De la détente la plus avantageuse dans les machines à vapeur. — Nous croyons devoir donner à titre de curiosité une méthode analytique indiquée par M. Marks, professeur de mécanique à l'Université de Pensylvanie, dans le journal de l'*Institut de Franklin*, pour

déterminer le point de détente le plus avantageux dans les machines à vapeur.

Si on appelle P la pression initiale absolue de la vapeur, P′ la contre-pression, p la pression moyenne pendant la course, V le volume du cylindre et e la fraction de la course pendant laquelle doit avoir lieu l'introduction, E étant l'effet utile de la vapeur, cet effet utile est directement proportionnel au travail accompli pendant la course du piston et inversement proportionnel au volume de vapeur dépensé. On a donc :

$$E = \frac{pV}{eV} = \frac{p}{e}.$$

La valeur de p est donnée par l'expression bien connue fondée sur la loi de Mariotte :

$$p = eP\left(1 + log\,\frac{1}{e}\right) - P'.$$

Si on remplace dans la première équation p par sa valeur exprimée dans la seconde, on a :

$$E = P\left(1 + log\,\frac{1}{e}\right) - \frac{P'}{e}. \qquad (a)$$

Si on différentie par rapport à e et si on cherche le maximum de E, on trouve qu'il correspond à $e = \frac{P'}{P}$. C'est-à-dire que l'introduction la plus favorable correspond à la fraction de la course donnée par le rapport de la contre-pression à la pression initiale de la vapeur.

Si dans l'équation a on substitue la valeur de $e = \frac{P'}{P}$, on obtient :

$$E = P\left(1 + log\,\frac{P}{P'}\right) - P = P\,log\,\frac{P}{P'},$$

formule qui permet de trouver l'effet utile comparatif d'une machine sans condensation et d'une machine à condensation employant de la vapeur à la même pression initiale.

Si pour la première on prend $P = 6$ et $P' = 1.05$ et pour la seconde $P = 6$ et $P' = 0.20$, on trouvera pour la machine sans condensation :

$$E = 2.3026 \times 6 \times log\,\frac{6}{1.05}$$

et pour la machine à condensation :

$$E = 2.3026 \times 6 \times log\,\frac{6}{0.2}.$$

Les effets utiles sont donc comme les logarithmes hyperboliques de

$\frac{6}{1.05} = 5.7$ et de $\frac{6}{0.2} = 30$, soit comme 1.73 et 3.40. On peut donc dire que, deux machines marchant avec la même pression de vapeur et la détente la plus avantageuse, l'une avec condensation, l'autre sans condensation, la première dépensera par unité de puissance la moitié de la vapeur dépensée par la seconde.

Nous devons faire quelques observations à ce sujet. Le principe théorique énoncé par le professeur Marks est bien connu et peut être démontré d'une façon tout à fait élémentaire; il est bien évident en effet que si on s'appuie sur la loi de Mariotte, il suffit de dire que les pressions étant en raison inverse des volumes, si on désire que la pression finale de la vapeur soit égale à la contre-pression, il suffira de faire le rapport des volumes final et initial de la vapeur égal au rapport des pressions initiale et finale. On arrive au même résultat par un tracé graphique.

Mais on doit faire une autre observation. La démonstration du professeur Marks est absolument théorique, elle ne tient aucun compte de la nature matérielle des machines que la vapeur met en jeu, c'est-à-dire principalement des actions des parois et de la manière dont se fait la détente au double point de vue physique et mécanique et de la vitesse de fonctionnement. En réalité, le rapport des effets utiles pourrait être notablement inférieur à deux, surtout si la machine à condensation avait des cylindres sans enveloppes et marchait lentement. Il peut y avoir des cas où, à pression initiale égale, la machine à condensation serait amenée par la chute plus considérable de température qui s'opère dans le cylindre et par des expansions exagérées dont les effets ne seraient pas atténués par un réchauffage, à dépenser à peu près autant et peut-être même plus qu'une machine sans condensation. Ce sont certainement des cas de ce genre qui ont jusqu'à ce jour fait repousser l'emploi de la condensation sur les bateaux à vapeur du Mississipi, et on peut citer des passages d'ouvrages américains indiquant que l'emploi de machines à condensation avait, dans certains cas, donné sur des bateaux de rivière de mauvais résultats au point de vue économique. Nous croyons donc devoir répéter que nous n'avons reproduit la démonstration du professeur Marks qu'à titre de simple curiosité.

A bas l'éther. — Sous ce titre fantaisiste, un ancien élève de l'École polytechnique, bien connu par d'ingénieuses inventions, M. J. Bourdin, a publié une petite brochure où, sous une forme humoristique, il aborde les plus grosses questions de la physique et combat l'hypothèse qui a fait son temps, selon lui, de l'éther, ce fluide unique par l'intermédiaire duquel se propageraient la lumière et les vibrations calorifiques ou chimiques composant les rayons émanés des corps incandescents.

Ces soi-disant fluides impondérables qui auraient toutes les propriétés de la matière, moins l'impénétrabilité et la pesanteur, ne sont autre chose que des transformations de la puissance vive moléculaire. Les atomes

dont le groupement constitue les solides, les liquides et les gaz sont dans un mouvement d'agitation perpétuelle qui peut, dans certains cas, prendre une cadence régulière, c'est-à-dire se transformer en un mouvement vibratoire dont l'amplitude et la périodicité peuvent varier dans des limites énormes. La chaleur, la lumière et l'électricité ne sont qu'une seule et même chose, un mouvement vibratoire de la matière.

La partie la plus curieuse de ce petit livre, qu'on lira avec intérêt, est celle où l'auteur, considérant pour un instant comme universellement admise dans l'enseignement la théorie de la vibration universelle, examine ce que deviendraient les définitions les plus usuelles de la physique et donne un échantillon de vocabulaire scientifique dans lequel nous citerons les mots : aimant, chaleur, cohésion, électricité, lumière, pile, puissance vive.

Locomotives sans foyer. — Le tramway de la Nouvelle-Orléans à Carrolton d'une longueur de 4,8 kilomètres est exploité depuis 1873 avec des locomotives sans foyer du système Lamm. Ces machines sont alimentées par des chaudières fixes produisant la vapeur à 9 ou 10 atmosphères seulement. Les réservoirs d'eau chaude des locomotives ont $0^m,915$ de diamètre et 1,982 de longueur, ce qui en supposant les 3/4 pour l'eau donne un approvisionnement de 1,000 litres en nombre rond ; la tôle d'acier dont sont faits ces réservoirs a 6,4 millimètres d'épaisseur ; les plus grandes précautions sont prises pour éviter le rayonnement de la chaleur, aussi la perte de pression n'est-elle par heure que de 1/5 d'atmosphère en été, et de 2/5 en hiver.

Les pistons ont 0,128 de diamètre et 0,177 de course, ils agissent au moyen d'engrenages sur un des deux essieux de la machine, les roues ont $0^m,750$ de diamètre ; la machine pèse 4 tonnes, elle traîne à la vitesse de 12 kilomètres à l'heure une voiture à 18 places.

Un voyage aller et retour dure 50 minutes, et pendant ce temps la pression descend de 8 3/4 à 5 atmosphères.

Il y a également à la Nouvelle-Orléans une autre ligne de tramways exploitée avec des machines sans foyer du système Scheffler.

Les chaudières fixes fournissent la vapeur à 13 atmosphères ; les réservoirs des machines ont 0,762 de diamètre et 2,707 de longueur, ce qui représente un volume d'eau de 900 litres, calculé comme ci-dessus.

Les cylindres ont 0,121 de diamètre et 0,254 de course. Les pistons commandent directement les essieux.

(*Organ.*)

Les chemins de fer aériens à New-York. — Le trafic des chemins de fer aériens de New-York dépasse tout ce qu'on peut imaginer. Le matériel des quatre lignes en exploitation comprend : 2e avenue, 29 machines et 66 voitures ; 3e avenue, 68 machines et 221 voitures ; 6e avenue, 46 ma-

chines et 152 voitures; 9e avenue, 24 machines et 49 voitures; soit en tout 167 machines et 488 voitures.

Le parcours kilométrique mensuel est de 433,734 kilomètres pour le réseau Est et 235,060 pour le réseau Ouest, soit en tout 668,794 kilomètres, ce qui correspond à 22,300 kilomètres par jour. Comme les trains s'arrêtent à peu près tous les 600 ou 700 mètres, il y a en nombre rond par jour, 33,000 arrêts pour prendre et laisser des voyageurs (*Engineering News.*)

Le tunnel du Saint-Gothard. — Les représentants de l'entreprise Favre l'ont chargé notre collègue, M. Pillichody, de faire un rapport sur l'organisation des chantiers du tunnel du Saint-Gothard, sur la marche des travaux et sur les prévisions que l'on peut former en ce qui concerne l'époque probable de l'achèvement. Nous croyons intéressant de résumer les points principaux de ce rapport publié dans l'*Eisenbahn.*

M. Pillichody estime qu'au chantier de Goeschenen, en comptant un avancement de 180 mètres par mois, on peut achever en 3 mois et demi ce qui doit être fait mécaniquement.

Le travail à la main, à raison de 1380 mètres cubes par mois pour cinq chantiers, demandera le même délai.

On peut donc admettre que le 15 août 1880, tout ce qui reste au-dessus des abatages dans le chantier de Goeschenen, sauf les 30 mètres courants de la mauvaise partie centrale, sera entièrement terminé.

A partir du 15 août, l'ouvrage restant à faire consistant en déblais de cunette, strosse et pieds-droits, le travail est limité à ce qui peut être chargé et transporté au moyen de 18 trains de 24 wagons par 24 heures, soit 10,000 mètres cubes par mois.

Le cube restant à enlever au 15 août 1880 étant d'environ 70,000 mètres cubes, il faudra 7 mois, ce qui mettrait au 15 mars 1881 la date de l'achèvement de l'enlèvement des déblais.

Il est prudent d'ajouter quelque chose pour tenir compte de ce que le déblai fait journellement, ira en diminuant pendant la dernière période du travail, faute de place pour occuper tous les ouvriers; de plus on devra achever les pieds-droits, le ballastage et la pose de la voie, de sorte qu'il est prudent de compter sur la fin d'avril 1881 pour l'achèvement complet de cette partie du travail.

Du côté d'Airolo, il y a un peu plus de déblai à faire, mais le travail est plus facile, on aura donc égalemement terminé le 15 août les déblais dans la hauteur des abatages.

Il restera à enlever au 15 août 72,700 mètres cubes de déblais, mais les conditions de transport sont plus faciles que dans le chantier de Goeschenen où se trouve la mauvaise partie, de sorte qu'on pourra gagner le temps nécessaire pour l'achèvement de la partie courbe et de raccordement; on peut donc fixer la fin d'avril 1881 comme époque très probable de l'achèvement du tunnel du Saint-Gothard.

Restent les deux questions de la maçonnerie et de la mauvaise partie[1]. Pour la première M. Pillichody indique qu'on est revenu à l'idée de maçonner tout le tunnel sauf de rares exceptions, et qu'à défaut des autres raisons déjà énumérées, l'exécution des maçonneries serait un obstacle insurmontable à l'achèvement du tunnel avant l'époque indiquée. C'est donc en tenant compte de ces faits que les prévisions du présent rapport ont été établies.

La mauvaise partie centrale dont la longueur est d'environ 30 mètres nécessite un chantier à part, dont la mise en train devra suivre l'achèvement des abatages et dont la marche sera subordonnée aux difficultés que l'on pourra rencontrer. Cependant, d'une part la position de ce chantier est telle qu'il ne peut entraver en aucune manière l'exécution des autres travaux, et, d'autre part, l'expérience faite à 2,800 du côté de Goeschenen conduisant nécessairement à employer dès l'origine les moyens suffisants, on peut espérer que ces quelques anneaux du souterrain se termineront sans apporter de perturbation dans le travail et assez à temps pour ne pas retarder l'époque d'achèvement fixée plus haut pour le reste du souterrain.

En résumé M. Pillichody croit possible de livrer le tunnel au commencement du mois de mai de l'année prochaine, à la condition que l'enlèvement des déblais puisse se faire dans la mesure indiquée soit à raison d'une moyenne de 18 trains de 24 wagons par jour, ce qui, vu l'irrégularité résultant du nombre des garages dont l'établissement ne pourra être que successif et qu'il sera souvent nécessaire de déplacer, et vu le temps assez long exigé pour l'organisation complète, fait que, pour arriver à la moyenne prévue, il faut compter sur un travail beaucoup plus considérable pendant une certaine période. Les autres causes qui pourraient retarder l'achèvement du tunnel, ne pourraient provenir que du manque d'ouvriers ou du manque d'eau qui priverait l'entreprise de son principal et seul efficace moyen de transport.

En dehors de ces trois causes, difficultés dans la mise en charge et le transport, manque de bras ou manque d'eau, il n'y a rien qui puisse faire craindre que le souterrain ne puisse pas être livré dans les premiers jours de mai de l'année prochaine. (*Eisenbahn.*)

1. Nous extrayons ce qui suit d'une lettre de M. de Stockalper, ingénieur, chef de service de l'entreprise Favre, publiée dans un numéro postérieur de l'*Eisenbahn*. « Le caractère dominant du terrain que traverse la mauvaise partie, *Blahende Strecke*, n'est pas celui d'un terrain qui gonfle sous l'influence de l'atmosphère, mais il est plastique dans toute sa masse et exerce une pression lente, excessive et constante, dont les effets ne sont nullement augmentés par l'influence atmosphérique. »

COMPTES RENDUS

SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

MAI 1880.

Rapport de M. Collignon sur un dispositif réalisant la transformation du mouvement circulaire en mouvement rectiligne par M. Perrolaz.

C'est une solution par système articulé dans le genre de celle du colonel Peaucellier. Il y a sept tiges, dont six constituent le système réciprocateur et la dernière tige guide l'un des sommets sur un arc de cercle, pour contraindre le sommet opposé à décrire une ligne droite ; seulement, contrairement au parallélogramme Peaucellier, les tiges sont placées dans des plans différents pour assurer la liberté de leurs mouvements respectifs.

Rapport de M. Voisin-Bey sur un système de hausses mobiles sur barrages de M. Jarre, ingénieur civil.

Ce système est disposé de façon que l'eau en arrivant à une hauteur déterminée enlève automatiquement les hausses et qu'il ne reste plus sur le barrage d'organes capables d'arrêter les glaces ou corps flottants.

Il est appliqué depuis 1874 aux usines d'Ornans sur la Loue, rivière torrentielle dont le débit varie souvent dans le rapport de 1 à 20.

Rapport de M. Pihet sur les robinets-graisseurs de M. Rous. Ces robinets appartiennent à deux types, l'un pour graisser d'une manière continue et automatique ou instantanément les cylindres et tiroirs des machines à vapeur, l'autre pour le graissage instantané seulement.

Rapport de M. Pihet sur les attaches métalliques pour jonctions de courroies de M. Violette.

Communication relative au phylloxera par M. Dumas.

Note sur les récoltes de blé d'hiver obtenues de 1822 à 1878, à Trappes, chez MM. Dailly, par M. Adolphe Dailly.

La Métallurgie à l'Exposition de 1878, par M. Lan, ingénieur en chef des Mines.

Cette partie comprend les nouveaux procédés de fabrication et d'ouvraison des fontes, fers et aciers. L'auteur, à propos de la fabrication des fontes,

étudie particulièrement les alliages variés, tels que fontes manganésées, fontes au chrome et au titane. L'application industrielle la plus importante est la fabrication au haut fourneau des fontes de manganèse contenant jusqu'à 88 pour cent de ce métal, qui remplace dans la plupart des cas le spiégel-eisen. Les autres chapitres comprennent la fabrication et ouvraison des fers soudés, la fabrication et ouvraison des aciers et alliages ferreux fondus, les moulages d'acier, l'acier comprimé, l'acier Bessemer, la fabrication de l'acier sur sole, l'affinage Bessemer avec garniture basique.

L'auteur termine par un examen sommaire des modifications réalisées récemment dans la métallurgie des métaux autres que le fer, entre autres la désargentation, le patinsonnage, l'affinage Bessemer pour le traitement des pyrites de fer cuivreuses, l'emploi du manganèse comme réducteur dans la fabrication du cuivre, le bronze phosphoreux, etc.

Discours prononcé aux funérailles du général Morin par M. Tresca.

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES.

JUIN 1880.

Des longueurs virtuelles d'un tracé de chemin de fer, par M. Baum, ingénieur des ponts et chaussées.

L'auteur indique que les principales longueurs virtuelles qu'on peut considérer sont :

1° La longueur virtuelle relative au travail mécanique.

2° La longueur virtuelle relative aux dépenses d'exploitation.

3° La longueur virtuelle relative aux dépenses du transport proprement dit.

4° La longueur virtuelle relative aux frais de traction.

5° La longueur virtuelle relative aux prix des tarifs.

6° La longueur virtuelle relative aux vitesses.

M. Baum s'est proposé d'étudier spécialement la première de ces longueurs virtuelles qu'il définit : la longueur virtuelle relative au travail mécanique d'une ligne de chemin de fer A B en rampe et courbe, est la longueur d'une ligne idéale, horizontale et rectiligne sur laquelle le travail à développer à égalité de vitesse, est le même que sur la ligne A B pour le transport d'une tonne de poids total.

Les méthodes employées jusqu'à présent pour le calcul des longueurs virtuelles sont nombreuses et se subdivisent en trois groupes :

1° Système basé sur la détermination de la résistance mécanique à vaincre sur un tracé.

2° Système basé sur le calcul de la dépense totale d'exploitation.

3° Système basé sur le calcul de la dépense du transport proprement dit.

1° Pour le premier groupe, l'auteur examine successivement : la méthode anglaise de 1838 qui est le premier essai fait dans cette voie, la méthode américaine de Ghega, qui employa le premier l'expression de longueur virtuelle; la formule de Claudel, 1854, les méthodes saxonne et bavaroise, la formule de M. Koch, ingénieur du chemin de fer de Cologne-Minden, la formule de M. Abt, ingénieur de la fabrique de machines d'Aarau, celle de M. Lindner, celle de M. Stocker, ingénieur de la traction du chemin de fer du Saint-Gothard; cette dernière est la plus simple, elle suppose que sur rampe la résistance d'une tonne de machine est triple de la résistance d'une tonne de véhicule et que dans les courbes elle est le double seulement.

M. Baum donne un tableau comparatif des résultats obtenus par ces méthodes pour des rampes allant de 1 à 30 millimètres. Les différences sont considérables, on peut donc en conclure que certaines de ces méthodes donnent des résultats fort éloignés de la vérité.

2° Pour le calcul des longueurs virtuelles relatives aux dépenses d'exploitation, l'auteur examine la formule de Minard, établie en 1844, formule de M. Roeckl, ingénieur bavarois, 1861, de M. Heyne, ingénieur autrichien, les méthodes italiennes de MM. Rombeaux, Ruva, La Nicca, la méthode de M. Menche de Loisne, ingénieur en chef des ponts et chaussées, la formule de M. Culmann de Zurich, celle de M. de Szabo, de Buda-Pesth, enfin la formule de la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée.

La comparaison de ces méthodes donne des résultats très différents, ce qui tient du reste à ce que l'unité adoptée n'est pas fixe, mais varie d'une méthode à l'autre; une comparaison rigoureuse entre les résultats ne pourrait être faite qu'à la condition de ramener les chiffres à une même unité qui devrait être la dépense d'exploitation sur une ligne en palier; en outre, la plupart des résultats ont été établis sans avoir égard à l'intensité du trafic.

3° Parmi les méthodes de calcul de la longueur virtuelle relative aux dépenses du transport proprement dit, on trouve les méthodes suisses, de l'Inspectorat technique des chemins de fer suisses, de M. Koller, de M. Lommel et de M. Hellwag, et la formule de M. Launhardt de Hanovre. La même observation s'applique ici, la comparaison ne peut avoir lieu que pour les formules ayant la même rampe pour base.

M. Baum propose une méthode abrégée pour le calcul de la longueur virtuelle relative au travail mécanique; il prend la formule des ingénieurs de l'Est, pour la mesure des résistances. La formule est de la forme :

$$L v = L (1 + \alpha + \beta)$$

α étant l'accroissement dû aux rampes et β l'accroissement dû aux courbes.

Les différentes valeurs de α sont données pour des rampes allant de 1/10 de millimètre à 30 millimètres, α est pour la première valeur de rampe de 0,032 et pour la dernière 17,996.

Les valeurs de β sont données pour des rayons allant de 100 à 7,000 mètres.

Pour le calcul de ce coefficient, l'auteur s'est appuyé sur les formules anglaises et allemandes, il cherche quelle est la rampe dont la résistance est équivalente à celle d'uue courbe de rayon donné.

Ainsi par exemple :

Une courbe de	100^m	équivaut à	une rampe de	6,31 $^m/_m$	et β =	2,284
—	1,000	—	—	0,69	—	0,224
—	7,000	—	—	0,012	—	0,0038

Pour l'application de cette méthode à un tracé de chemin de fer, on obtient la longueur virtuelle relative à la résistance d'une ligne de chemin de fer, en ajoutant à la longueur réelle de la ligne :

1° L'accroissement de longueur dû à la résistance des courbes.

2° La demi-somme des allongements dus aux pentes et aux rampes en assimilant les pentes aux rampes pour le calcul des résistances.

M. Baum fait l'application aux lignes de Bourges à Montluçon, de Montluçon à Saint-Sulpice-Laurière et Aubusson, de Toulouse à Lexos et Albi.

Il étudie ensuite la relation entre la dépense d'exploitation et la longueur virtuelle, ou le coefficient virtuel, et donne une formule de la dépense d'exploitation par tonne kilométrique.

1° Pour l'ancien réseau et pour une recette brute kilométrique comprise entre 30,000 et 150,000 francs, on a :

$$D = 0,85 + \frac{12}{\sqrt{2R}} + \frac{6\,Cv}{\sqrt{2R}}.$$

2° Pour le nouveau réseau et pour des recettes brutes kilométriques comprises entre 10,000 et 30,000 francs, on a :

$$D = 0,9 + \frac{6}{\sqrt{2R}} + \frac{4\,Cv}{\sqrt{2R}}.$$

3° Enfin pour les chemins de fer d'intérêt local et pour une recette kilométrique inférieure à 10,000 francs, on a :

$$D = 1 + \frac{16}{\sqrt{2R}} + \frac{6\,Cv}{\sqrt{2R}}.$$

Dans ces formules, D est la dépense d'exploitation par tonne de marchandises et par kilomètre; $\frac{R}{2}$, la fréquentation d'une ligne dont le trafic

est supposé le même dans les deux sens; et C_v, le coefficient virtuel de la ligne.

La formule de la dépense d'exploitation par kilomètre de ligne est :

$$D = 2800 + 0{,}13\,R\,(1 + C_v),$$

les lettres ayant les mêmes significations que précédemment. Si le coefficient virtuel atteint la valeur de 3, ce qui est le cas de la plupart des lignes d'intérêt général qui restent à construire, on a :

$$D = 2800 + 0{,}52\,R.$$

Le coefficient d'exploitation est :

$$\frac{D}{R} = \frac{2800}{B} + 0{,}13\,(1 + C_v),$$

et dans le cas particulier où $C_v = 3$

$$\frac{D}{R} = \frac{2800}{R} + 0{,}52.$$

Exposé d'un mode de notation et de représentation des observations hydrométriques, par M. Ritter, ingénieur en chef des ponts et chaussées.

Cette note a pour objet d'indiquer une méthode simple pour juger sous le rapport de la hauteur de l'importance relative soit des crues successives d'un même cours d'eau, soit des crues simultanées successives dans des bassins différents; cette méthode permet de représenter sur des cartes d'ensemble l'état de tous les cours d'eau d'un pays à un moment donné et de mettre en évidence par la comparaison de ces cartes, le mode de composition et de progression des crues.

ANNALES DES MINES.

2e NUMÉRO DE 1880.

Extraits de géologie pour les années 1877 et 1878, par MM. Delesse et de Lapparent.

Statistique de l'industrie minérale en France, production des combustibles minéraux, des fontes, fers et aciers pendant l'année 1879.

Les productions totales comparées ont été pour les deux dernières années :

	1879.	1878.
Houille et anthracite.	16,576,854	16,440,650
Lignite.	527,631	520,266
Total des combustibles minéraux.	17,107,485	16,960,916

Fontes.	1,373,239	1,521,274
Fers.	324,873	312,929
Aciers.	837,903	843,112
Total des métaux	2,536,015	2,677,315

Note sur les mines de l'archipel des Feroé, par M. Petiton.

L'auteur étudie la richesse en charbon de l'île de Suderoé et celle des gisements de cuivre natif de cette île et de celle de Naalsoë, à la suite d'une exploration faite sur les lieux.

De l'échauffement produit par l'affaissement des terrains, par M. Haton de la Goupillière, ingénieur en chef des Mines.

Note sur la préparation des sels d'Urane et de Vanadium à Joachimstal, Bohême Septentrionale, par M. Lallemand, ingénieur des mines.

Notice sur les travaux exécutés à Bourbonne les Bains, par M. Rigaud, ingénieur des mines.

Le Secrétaire-Rédacteur,

A. MALLET.

PARIS. — IMPRIMERIE DE E. CAPIOMONT ET V. RENAULT, RUE DES POITEVINS, 6.
Imprimeurs de la Société des Ingénieurs civils.

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

AOUT 1880

N° 8

Pendant le mois d'août les questions suivantes ont été traitées :

1° *Inconvénients du tunnel étudié sous le mont Blanc et de ses lignes d'accès et aux avantages du tracé par le Simplon* (Compte rendu par M. Mallet, du Mémoire de M. Colladon, relatif aux) (séance du 6 août, page 172).

2° *Théorie de la résistance des poutres* (Communication de M. Clerc, sur une nouvelle) (séance du 6 août, page 189).

3° *Inoxydation, dorure et platinage des métaux* (Communication de M. Douau, sur l') (séance du 6 août, page 194).

4° *Distillation de la Térébenthine* (séance du 6 août, page 194).

5° *Lacs riches en sulfate de soude du Caucase* (Communication de M. Charles Gauthier, sur les) (séance du 6 août, page 186).

6° *Allocution de M. le Président* (séance du 6 août, page 204).

Pendant le mois d'août la Société a reçu :

De M. Yvon-Villarceau, membre de la Société, un *Mémoire sur les effets du roulement dans la théorie du pendule à réversion.*

De la Chambre de Commerce de Lyon, une brochure sur la question du *Rachat des Chemins de fer par l'État.*

De M. Colladon, membre de la Société, une *seconde Notice sur la question du Simplon ou du mont Blanc.*

De M. Guettier, membre de la Société, un exemplaire de l'*Histoire des écoles nationales d'Arts et Métiers.*

De M. Bernard (Auguste), membre de la Société, une *Notice sur les Résultats des essais faits en Belgique sur le système de voie de Serres et Battig.*

De M. Barlow, membre de la Société, le *Rapport sur l'accident du pont de la Tay.* (Ouvrage en anglais.)

De MM. Jeannettaz, Fontenay, Vanderheym et Coutance, un exemplaire de leur ouvrage intitulé : *Diamant et Pierres précieuses.*

De M. Faliès, membre de la Société, une note sur le *Système de voie entièrement métallique pour tramway de M. Demerbe.*

Les Membres nouvellement admis sont :

MM. Chayet,	présenté par MM.	Flachat, Ivan Forey et Mony.
Conteville,	—	Barrault, de Comberousse et Demimuid.
Delloye,	—	Carimantrand, Mallet et Marché.
Douine,	—	Mallet, Molinos et Régnard.
Fauconnier,	—	Jordan, Marché et Vée.
Gaultier de la Rosière,	—	Carimantrand, de la Berthelière et Moreau.
Portevin,	—	Armengaud jeune, Bréguet et Doury.

MÉMOIRE

SUR UNE

NOUVELLE THÉORIE

DE LA

RÉSISTANCE DES POUTRES

PAR M. A. CLERC,

Ingénieur des Arts et Manufactures,
Ancien élève de l'École des Arts et Métiers de Châlons-sur-Marne.

INTRODUCTION

L'étude de la résistance des matériaux prend, au point de vue des applications industrielles, une importance tous les jours de plus en plus grande, notamment pour ce qui concerne les travaux d'art : ponts, viaducs de chemin de fer..., etc., et surtout pour les constructions métalliques.

Malgré cette importance, les méthodes de calcul employées pour la plupart de ces applications sont restées très compliquées, et même tout à fait inabordables pour ceux qui ne connaissent pas les méthodes de l'analyse.

Les formules dont on fait usage sont cependant loin de présenter toute la généralité que l'on doit désirer. En ce qui concerne notamment le cas particulier des applications aux poutres métalliques, on peut dire que, à part le problème très simple d'une poutre reposant sur deux appuis sans encastrement, aucun de ces problèmes ne peut, avec les méthodes usuelles, être traité *pratiquement* d'une manière générale, c'est-à-dire, en tenant compte des variations des sections, et sans l'aide d'aucune hypothèse sur le mode de répartition des charges; et surtout ces problèmes ne peuvent absolument pas être traités d'une manière élémentaire.

C'est qu'en effet il se présente, comme inconnues dans ces problèmes, certaines réactions que l'on ne peut déterminer qu'en tenant compte de la déformation, et les formules faisant connaître cette déformation sont compliquées, et ne se prêtent pas, dans l'état actuel des méthodes, à une solution pratique des problèmes posés d'une manière générale. Aussi, est-on conduit à faire des hypothèses, telles que celle de la constance des moments d'inertie et des sections, et celle de la répartition uniforme des charges, hypothèses auxquelles on est habitué aujourd'hui, et qui ne surprennent plus malgré leur désaccord avec la réalité.

Malgré ces restrictions, ces méthodes de calcul sont encore d'un emploi pénible, et, s'il est très aisé d'oublier les formules, il est difficile de les retrouver, en sorte qu'il n'y a guère que ceux qui en font un usage continuel qui puissent les posséder suffisamment.

Certaines méthodes, exclusivement graphiques, permettent d'arriver à la solution de ces questions. Ces méthodes, d'abord usitées à l'étranger, tendent aujourd'hui à se répandre en France ; elles emploient particulièrement les procédés de la graphostatique, et elles nécessitent la parfaite exécution d'épures qui ne sont pas toujours très simples, ce qui peut n'être pas à la convenance de tous les ingénieurs qui, souvent, n'ont pas le loisir ni le goût de reprendre la règle et l'équerre.

En l'état actuel de la question, on voit qu'il serait à désirer que l'on pût établir une formule qui, d'abord fût générale, de telle façon que l'on puisse, si on le juge utile, se dispenser de faire des hypothèses sur la répartition des charges ou sur les dimensions de la poutre, mais en même temps, d'une forme qui en rendît l'application pratique en employant les procédés familiers aux ingénieurs. Il serait non moins à désirer que cette formule fût facile à retenir ou à retrouver.

C'est à ce résultat que nous croyons être arrivé, par l'établissement d'une formule, dégagée des hypothèses précédentes, susceptible de s'énoncer en langage ordinaire, et d'être démontrée au besoin d'une manière élémentaire.

Les limites dans lesquelles nous devons faire tenir le développement de ce Mémoire ne nous permettront pas de traiter ici la question des pièces courbes, que nous réserverons pour une publication ultérieure.

Nous avons dû, pour la même raison, réserver l'étude de l'effet des charges roulantes sur la résistance des poutres.

THÉORIE

CHAPITRE PREMIER.

Rappel de la formule fondamentale de la flexion d'un solide prismatique.

Avant d'aborder l'étude spéciale de la déformation des poutres, nous allons rappeler la démonstration de la formule fondamentale de la flexion d'un solide prismatique, laquelle s'appliquera, par analogie, à tout solide assimilable à un solide prismatique.

Soit AB (fig. 1), une section plane d'un élément prismatique, section que nous supposerons normale à la fibre moyenne; et CD, une deuxième section également plane et normale, c'est-à-dire parallèle à la première et à une distance $d.\ x$.

C′ D′ est la position du plan CD après la flexion, et $d\theta$, l'angle des deux plans.

Nous supposons établies les formules connues.

$$i = \frac{R}{E},$$

$$R = \frac{v\mu}{I};$$

où i est l'allongement par unité de longueur d'une fibre,

R, le coefficient de travail de la matière de la fibre,

v, la distance de cette fibre au plan de la fibre moyenne,

E, le coefficient d'élasticité de la matière du prisme,

μ, le moment fléchissant correspondant à la section considérée,

et I, le moment d'inertie de cette section.

Une fibre FH, de longueur dx a pris, par suite de la flexion, un allongement :

$$i' = \frac{R}{E} \times dx.$$

La figure 1 montre que l'on a :

$$i' = HH' = v \times d\theta.$$

Donc
$$v \times d\theta = \frac{R}{E} \times dx.$$

Remplaçons R, par sa valeur : $R = \frac{v\mu}{I}$,

il vient :

$$v \times d\theta = \frac{v\mu}{EI} \times dx,$$

d'où on tire :

$$(1) \qquad d\theta = \frac{\mu}{EI} \times dx.$$

Telle est la formule fondamentale dont on fait usage dans l'étude de la flexion. C'est également celle dont nous nous servirons.

Nouvelle formule donnant l'expression du déplacement vertical relatif de deux points quelconques de la fibre moyenne dans la flexion des poutres droites.

Ceci rappelé, abordons l'exposition de la méthode qui fait l'objet de ce Mémoire. Nous allons établir une formule donnant l'expression du déplacement vertical relatif de deux points quelconques de la fibre moyenne, dans la flexion des poutres droites.

Soit RS (fig. 2), la fibre moyenne d'une poutre primitivement droite, cette poutre ayant pris, par suite de la flexion, une certaine courbure dans son plan.

Prenons l'axe des x, parallèle à la direction de l'axe de la poutre.

Considérons, dans cette pièce déformée, une portion BMA comprise entre le point A et le point B;

x_1 et y_1 sont les coordonnées du point A,
x_2 et y_2 sont celles du point B.
La distance $AB = x_2 - x_1 = l$.

Imaginons maintenant que cette portion BMA de la pièce déformée que nous considérons, a été momentanément soustraite à l'action de toutes les forces extérieures entre le point A et le point B, et séparée de la partie à gauche du point A, comme si on l'avait sciée dans la section aa' en A, et en même temps, que la portion de pièce à droite de la section bb' en B, est maintenue exactement dans sa position déformée.

Par suite de l'élasticité, la pièce BMA va reprendre sa forme primitive rectiligne, et la ligne BA suivra une direction BA′, qui se confondra avec celle de la tangente en B à la fibre moyenne déformée. En effet, la section voisine du point B, dans la pièce BA, redeviendra parallèle à la section normale bb' en B.

Posons, maintenant, $AA' = h$.

Tout ce que nous allons dire supposant des déplacements très petits, nous pourrons poser :

$$h = y_2 + \theta_B \cdot l - y_1.$$

θ_B est l'angle aigu que fait la tangente en B, à la fibre moyenne déformée avec l'axe des x, ou autrement, avec la direction primitive de la fibre moyenne.

Maintenant, ramenons cette portion BA′ de la pièce de manière à faire coïncider exactement tous les points de BA′ avec ceux de la courbe BMA, en procédant, par exemple, à partir du point B, et en agissant sur tous les éléments successifs depuis B jusqu'à A, comme on le ferait, par exemple, avec une règle plate qu'on forcerait à s'appliquer sur une directrice; de telle sorte que, un point quelconque M′ étant revenu à sa position M, et la portion MA′ de la pièce étant encore rectiligne, une nouvelle variation $d\theta$, de l'inclinaison donnée à l'élément suivant pour le ramener sur la courbe BMA, produira pour le point extrême A′ un déplacement :

$$d \cdot h = d\theta \times MA' = d\theta \times \alpha,$$

en désignant, d'une manière générale, par α une distance variable, telle

que AM, de A à un point quelconque de AB; nous désignerons de même par $d.\ \alpha$ la longueur d'un élément de AB.

Le déplacement total h sera la somme de toutes ces valeurs de $d\theta$, et on aura :

$$h = \sum_{B}^{A} d\theta \times \alpha.$$

Signe des rotations $d\theta$. — Il y aura lieu de tenir compte, dans cette valeur de h, du signe de $d\theta$, suivant le sens de la rotation. A cet effet, nous conviendrons d'appeler courbure positive, celle qui se produit dans le cas d'une poutre simple, reposant sur deux appuis sans encastrement, et chargée de poids. La convexité sera alors en bas (fig. 3).

La rotation $d\theta$ aura le signe $+$ lorsqu'elle aura pour effet d'accroître la courbure positive, elle aura le signe — dans le cas contraire.

Dans la valeur de $h = AA'$, le signe de $d\theta$ sera positif.

Au contraire, si on applique le raisonnement précédent à la portion BC de la pièce RS, laquelle portion BC est située au-dessous de la tangente en B, on aurait :

$$CC' = h' = -\sum_{B}^{C} d.\theta \times \alpha',$$

α' désignant les distances variables du point C à un point quelconque de BC.

Remplaçons maintenant dans l'expression :

$$h = \sum_{B}^{A} d\theta \times \alpha,$$

h par sa valeur, il vient :

$$y_2 + \theta_B . l - y_1 = \sum_{B}^{A} d\theta \times \alpha.$$

Or, la formule (1) démontrée plus haut, nous donne pour $d\theta$, la valeur :

$$(1) \qquad d\theta = \frac{\mu}{EI} \times d\alpha,$$

$d\alpha$ désignant, ainsi que nous sommes convenus, la longueur d'un élément prismatique de la pièce AB.

Remplaçant, il vient :

$$(a) \qquad y_2 + \theta_B l - y_1 = \sum_B^A \frac{\mu}{EI} \times d\alpha \times \alpha.$$

Traduction en langage ordinaire de la formule (a) donnant la valeur du déplacement.

Telle est l'expression qui donne la valeur du déplacement vertical relatif de deux points d'une poutre fléchie. Cette expression est susceptible d'une traduction en langage ordinaire.

En effet, le second membre de l'équation (a): $\sum_B^A \frac{\mu}{EI} \times d\alpha \times \alpha$, lequel fait connaître la valeur du déplacement, n'est pas autre chose que l'expression du moment de la surface dont les ordonnées représenteraient les valeurs de $\frac{\mu}{EI}$; cette surface tournant autour d'une parallèle en A à Oy. Nous conviendrons de représenter en abrégé cette expression par :

$$mom._B^A \frac{\mu}{EI},$$

les indices A et B faisant connaître les limites entre lesquelles on doit prendre le moment de la surface, et l'indice supérieur A définissant la position de l'axe autour duquel la surface est censée tourner.

La formule du déplacement devient alors :

$$(A) \qquad y_2 + \theta_B l - y_1 = mom._B^A \frac{\mu}{EI},$$

et la formule (A) s'énoncera ainsi :

$y_2 + \theta_B l - y_1$ égale le moment, depuis B jusqu'à A, de la surface des $\frac{\mu}{EI}$.

Formule du déplacement vertical dans le cas
où $\frac{1}{EI}$ est supposé constant.

Si l'on suppose $\frac{1}{EI}$ constant sur la longueur de la poutre, ainsi qu'on sera généralement obligé de faire dans un avant-projet, la formule (A) peut s'écrire :

$$(A') \qquad y_2 + \theta_B l - y_1 = \frac{1}{EI} mom._B^A \; \mu.$$

Ce sera la surface des moments fléchissants eux-mêmes, dont on aura à prendre le moment autour de l'axe en A.

La formule (A') s'énoncera ainsi :

$y_2 + \theta_B l - y_1$ égale $\frac{1}{EI}$ qui multiplie le moment, depuis B jusqu'à A, de la surface des moments fléchissants.

Formules faisant connaître les valeurs des variations angulaires
des tangentes à la fibre moyenne.

Il peut être utile de connaître la valeur de la variation angulaire des tangentes à la fibre moyenne, entre deux points A et B.

La formule (1) fournit immédiatement cette valeur ; on a, en effet

$$(1) \qquad d\theta = \frac{\mu}{EI} \times d\alpha,$$

d'où : (b) $$\sum_B^A d\theta = \theta_B - \theta_A = \sum_B^A \frac{\mu}{EI} \cdot d\alpha.$$

Il n'est pas inutile de faire remarquer que le second membre de l'équation (b) est l'expression de la surface des $\frac{\mu}{EI}$, prise entre les limites A et B.

Telles sont les formules générales que nous emploierons pour les calculs de la stabilité et de la déformation des poutres droites. Ces

formules nous permettront d'établir des relations conduisant, dans chaque cas particulier, à la connaissance des réactions inconnues et des déformations à l'aide de certaines constantes qui seront des données de la question. Ces constantes seront, par exemple, les valeurs de certains angles connus d'avance, comme dans le cas d'encastrement ; ou, certaines ordonnées, comme seront, par exemple, les ordonnées sur les appuis d'une poutre.

Ces formules permettent, à l'aide d'un théorème nouveau, de traiter ces mêmes questions en tenant compte de l'effet des charges roulantes. Cette dernière solution, trop étendue pour prendre place dans ce Mémoire, sera publiée ultérieurement.

Observation au sujet des notations : $d.\theta$ et $d.\alpha$.

Nous avons conservé, à dessein, dans cette communication, destinée à la Société des Ingénieurs civils, les notations $d.\alpha$ et $d.\theta$, du calcul différentiel ; mais elles ne donnent pas lieu, ainsi qu'on vient de le voir, à des intégrations proprement dites, en sorte que la démonstration précédente n'en est pas moins élémentaire.

Dans un autre travail, qui sera publié prochainement, ces notations seront modifiées, ce que chacun peut du reste faire, au besoin, très facilement.

Remarque au sujet de l'expression de moment d'une surface.

Remarquons, au sujet de cette expression de *moment d'une surface* qui, on le sait, n'a par elle-même aucune signification concrète, qu'elle a été créée spécialement pour représenter des sommations de la forme :

$$\Sigma y \times dx \times x;$$

on a introduit par là, une expression qui, devenant familière, facilite le langage et aide la mémoire, en même temps que, par son seul énoncé, elle rappelle un certain nombre de propriétés connues.

Dans le cas particulier qui nous occupe, une semblable expression présente en outre un double avantage. D'abord, elle indique très clairement les opérations à effectuer ainsi que les limites entre lesquelles

on doit faire ces opérations ; et ensuite, la théorie se trouve en quelque sorte fixée sur cette formule, mieux qu'elle ne peut l'être par une relation algébrique, toujours un peu variable, ne fût-ce que par les notations des différents auteurs, et c'est sans aucun doute intéressant, puisque cette formule est suffisante pour traiter les problèmes les plus compliqués.

Une remarque analogue s'appliquerait à l'expression de *moment d'inertie d'une surface*, dont nous aurons l'occasion de faire un usage spécial, lorsque nous tiendrons compte, pour le calcul des poutres, de la variation des valeurs de $\frac{1}{EI}$ sur la longueur de la poutre.

CHAPITRE II.

Application de la nouvelle théorie.

Application de la formule (A) *à l'établissement d'une relation entre les moments sur trois appuis consécutifs d'une poutre continue.*

Pour faire de suite une application de notre méthode, nous allons établir, à l'aide de la formule (A), la relation entre les moments sur trois appuis consécutifs d'une poutre continue composée d'un nombre quelconque de travées.

L'équation à laquelle nous serons conduits, sera analogue à la formule connue sous le nom d'équation des trois moments, seulement l'emploi de cette formule nouvelle ne nécessitera aucune hypothèse, ni sur le mode de répartition des charges, ni sur la distribution de la matière dans la poutre. L'équation de Clapeyron se présentera comme un cas particulier.

Soient donc AB et BC (fig. 4), deux travées contiguës d'une poutre continue ; désignons par l et l', les longueurs de ces travées.

Pour plus de simplicité, nous supposerons les appuis de niveau ; on aura alors :

$$y_1 = y_2 = y_3 = 0$$

Soit encore θ_B la tangente de l'angle aigu que fait avec l'axe des x, la tangente au point B, à la fibre moyenne déformée.

Pour obtenir la relation cherchée entre les trois moments, nous appliquerons notre formule de la déformation des poutres, successivement à chacune des deux travées AB et BC, entre les points d'appui de ces travées.

La formule (A) appliquée à la travée AB entre l'appui B et l'appui A, nous donnera une première expression de θ_B :

$$(2) \qquad \theta_B = \frac{1}{l}\, mom._B^A \frac{\mu}{EI};$$

la même formule (A), appliquée à la travée BC entre l'appui B et l'appui C, nous fournit une deuxième expression de θ_B.

$$(3) \qquad \theta_B = -\frac{1}{l'}\, mom._B^C \frac{\mu'}{EI}.$$

Dans l'équation (3), la valeur de θ_B est affectée du signe — parce que la rotation de C' à C, a lieu en sens inverse de la courbure positive.

On sait d'ailleurs par la statique, que l'expression du moment fléchissant en un point quelconque d'une travée, de la travée AB, par exemple, serait donnée par l'équation :

$$(\mu) \qquad \mu = \mu_A + \frac{\mu_B - \mu_A}{l} x + \mathcal{M}$$

où μ_A est le moment sur l'appui A.

μ_B est le moment sur l'appui B,

et $\mathcal{M}$, désignant d'une manière générale, l'expression des moments auxquels donneraient lieu les charges de la travée considérée, agissant sur une poutre de même longueur que cette travée et reposant

simplement sur deux appuis, ou, ainsi que s'exprime M. Bresse, comme si cette travée elle-même, était sciée sur ses appuis [1].

Convention relativement au signe des moments fléchissants.

Nous ferons, pour les signes des moments fléchissants, une convention semblable à celle que nous avons faite pour les signes des rotations $d.\theta$; et nous dirons qu'un moment fléchissant sera positif lorsqu'il tendra à augmenter la courbure positive.

D'après cette convention, il est visible que les moments $\mathcal{M}$ seront, par définition même, toujours positifs, et, dans le cas actuel, les moments μ_A et μ_B seront négatifs, au moins dans les applications usuelles.

Si, pour fixer les idées, on voulait représenter graphiquement ces valeurs de μ (fig. 4), on opérerait de la manière suivante:

L'expression $\mu_A + \frac{\mu_B - \mu_A}{l} x$, dont la valeur est négative, puisque les

---

(1) Pour établir cette formule, on pose l'expression du moment en un point d'une travée.

$$\mu = \mu_A + T_A \,.\, x - \Sigma_0^x \, q\,(x - d),$$

T_A est l'effort tranchant en A,
q désigne une quelconque des charges agissant sur la travée,
d est la distance de cette charge q à l'appui de gauche.

Au point B on a : $x = l$,

et alors :

$$\mu_B = \mu_A + T_A l - \Sigma_0^l \, q\,(x - d),$$

d'où on tire la valeur de T_A ;

$$T_A = \frac{\mu_B - \mu_A}{l} + \Sigma_0^l \frac{q\,(l-d)}{l},$$

remplaçant dans la première expression du moment, il vient :

$$\mu = \mu_A + \frac{\mu_B - \mu_A}{l} x + \left(\Sigma_0^l \frac{q\,(l-d)}{l} x - \Sigma_0^x \, q\,(x - d)\right),$$

ce qui conduit à l'expression (μ) en remplaçant

$$\left(\Sigma_0^l \frac{q\,(l-d)}{l} x - \Sigma_0^x \, q\,(x - d)\right)$$ par la lettre $\mathcal{M}$.

moments μ_A et μ_B sont négatifs, serait représentée en tous points de la travée, par les ordonnées d'un trapèze A a B b, tel que :

$$Aa = -\mu_A$$
$$Bb = -\mu_B$$

μ_A et μ_B désignant les valeurs absolues des moments sur les appuis.

Les valeurs de $\mathcal{M}$ seraient représentées par les ordonnées d'un contour polygonal ou courbe que la statique permet de déterminer, dans tous les cas.

Le moment, en un point quelconque de la travée, serait alors obtenu, en retranchant, en ce point, l'ordonnée du trapèze qui représente un moment négatif, de l'ordonnée de la surface S qui représente un moment positif, ou, si on veut, en renversant le trapèze sur la surface S.

Par analogie, nous conviendrons de donner au trapèze, le nom de surface des moments négatifs, et à la surface S, le nom de surface des moments positifs.

On verra tout à l'heure, que cette décomposition de la surface des moments en deux surfaces, l'une positive et l'autre négative, a une grande utilité pour l'application de notre méthode.

Nous obtiendrons de même pour la travée BC, un trapèze Bb Cc, tel que

$$Bb = -\mu_B, \quad C_C = -\mu_C,$$

et une surface des moments $\mathcal{M}$ positifs, surface que nous désignerons par S'.

Formule des trois moments dans le cas où $\frac{1}{EI}$ est supposé constant.

Nous allons maintenant remplacer, dans les équations (2) et (3) les moments des surfaces des μ et des μ' par leurs valeurs tirées de l'équation (μ), et nous supposerons d'abord, dans ces équations, que $\frac{1}{EI}$ est supposé constant sur la longueur des deux travées AB et BC.

Lorsque $\frac{1}{EI}$ est supposé constant, les formules (2) et (3) peuvent s'écrire :

$$(4) \qquad \theta_B = \frac{1}{l.EI} \times mom._B^A \mu.$$

$$(5) \qquad -\theta_B = \frac{1}{l'.EI} \times mom._B^C \mu'.$$

Pour établir les valeurs du second membre dans ces équations (4) et (5), nous aurons à prendre les moments des surfaces S et S'.

Décomposons le trapèze A*a* B*b* (fig. 4) en deux triangles par la droite B*a*, et de même le trapèze B*b* C*c* en deux triangles, par la droite B*c*.

Les équations (4) et (5) deviennent, en exprimant les moments des surfaces et tenant compte du signe négatif de μ_A, μ_B, μ_C.

$$(6) \qquad \theta_B = -\frac{1}{l.EI}\left(\frac{\mu_A l^2}{6} + \frac{2\mu_B l^2}{6}\right) + \frac{1}{l.EI} \times S\lambda.$$

$$(7) \quad -\theta_B = -\frac{1}{l'.EI}\left(\frac{\mu_C l'^2}{6} + \frac{2\mu_B l'^2}{6}\right) + \frac{1}{l'.EI} \times S'(l' - \lambda').$$

λ et λ' sont les distances des centres de gravité des surfaces S et S' à l'appui de gauche de la travée correspondante.

En égalant les deux valeurs que l'on obtient ainsi pour θ_B, et simplifiant, il vient :

$$(G) \qquad \mu_A . l + 2\mu_B (l + l') + \mu_C l' = \frac{6 S'\lambda}{l} + \frac{6 S'(l' - \lambda')}{l'}.$$

Telle est la relation qui lie les moments fléchissants sur trois appuis consécutifs d'une poutre continue, dans le cas où $\frac{1}{EI}$ est supposé constant. On voit que cette formule (G) ne suppose rien sur la disposition des charges.

On remarquera que le premier membre de cette équation (G) est identique au premier membre de l'équation de Clapeyron. Quant au second membre, sa valeur pourra toujours être calculée ou déterminée graphiquement *à priori*.

De cette formule (G), nous allons passer avec la plus grande facilité, à l'équation bien connue de Clapeyron. Il suffira pour cela, de voir ce que devient le second membre de l'équation lorsque l'on suppose les charges uniformément réparties sur les travées.

Formule des trois moments, dans le cas où $\frac{1}{EI}$ étant supposé constant, les charges sont uniformément réparties sur la longueur des travées.

Soit p, la charge par mètre courant, uniformément répartie sur la première travée AB, et p' la charge par mètre courant, sur la deuxième travée BC.

La surface S pour la première travée, sera un segment parabolique dont l'ordonnée au milieu est égale à $\frac{1}{8}pl^2$; et dont la surface, égale aux $\frac{2}{3}$ de celle du rectangle circonscrit à ce segment parabolique, aura pour valeur :

$$S = \frac{2}{3}\frac{1}{8}pl^3 = \frac{1}{12}pl^3,$$

et $\lambda = \frac{l}{2}$;

de même, on aura, pour la deuxième travée :

$$S' = \frac{1}{12}p'l'^3,$$

et $l' - \lambda' = \frac{l'}{2}$.

L'équation (G) devient en remplaçant, et simplifiant :

$$\text{(H)} \qquad \mu_A . l + 2\mu_B(l + l') + \mu_C l' = \frac{1}{4}pl^3 + \frac{1}{4}p'l'^3.$$

On reconnaît l'équation de Clapeyron.

Formule des trois moments dans le cas où $\frac{1}{EI}$ n'est plus supposé constant et où les charges sont quelconques.

Nous allons traiter maintenant le problème tout à fait général de l'établissement de la relation entre les moments sur trois appuis consécutifs d'une poutre continue, en tenant compte des variations des sections; les charges étant quelconques.

Supposons donc que les dimensions de la poutre étant connues, et les valeurs de $\frac{1}{EI}$ étant déterminées pour chaque section, on se propose de trouver la relation entre les trois moments, en tenant compte des variations de $\frac{1}{EI}$.

Reproduisons les formules (2) et (3).

(2) $$\theta_B = \frac{1}{l}\, mom._B^A \frac{\mu}{EI}.$$

(3) $$-\theta_B = \frac{1}{l'}\, mom._B^C \frac{\mu'}{EI}.$$

Dans la formule (2), remplaçons μ par son expression :

$$\mu = \mu_A + \frac{\mu_B - \mu_A}{l} x + \mathcal{M}$$

il vient, en tenant compte des signes négatifs des moments : μ_A, μ_B, μ_C.

(8) $$\theta_B = -\frac{1}{l}\left(mom._B^A \frac{\mu_A}{EI} + mom._B^A \frac{\mu_B - \mu_A}{l.EI} x\right) + \frac{1}{l}\, mom._B^A \frac{\mathcal{M}}{EI}.$$

Dans le second membre de cette équation (8), les deux termes entre parenthèses, ont chacun une signification particulière très simple.

Le premier terme : $mom._B^A \frac{\mu_A}{EI}$ peut s'écrire ainsi :

$$\mu_A \times mom._B^A \frac{1}{EI},$$

puisque μ_A est constant.

Or, dans cette expression, le coefficient de μ_A est égal au moment de la surface des $\frac{1}{EI}$, cette surface tournant autour de Ay.

Les valeurs de $\frac{1}{EI}$ étant supposées connues pour tous les points de la poutre, ce coefficient peut être calculé ou déterminé graphiquement ; nous désignerons sa valeur par : M_B^A.

Le second terme entre parenthèses $\left(mom._B^A \frac{\mu_B - \mu_A}{l.EI} x\right)$, peut s'écrire :

$$\frac{\mu_B - \mu_A}{l} \times mom._B^A \frac{1}{EI} \times x.$$

Or l'expression $\left(mom.{}_{\mathrm{B}}^{\mathrm{A}} \frac{1}{\mathrm{EI}} \times x\right)$ n'est pas autre chose que la valeur du moment d'inertie de la même surface des $\frac{1}{\mathrm{EI}}$ autour du même axe que tout à l'heure.

On a, en effet,

$$mom.{}_{\mathrm{B}}^{\mathrm{A}} \frac{1}{\mathrm{EI}} \times x = \Sigma_{\mathrm{B}}^{\mathrm{A}} \frac{1}{\mathrm{EI}} \times x^2\, dx,$$

qui est l'expression du moment d'inertie de la surface des $\frac{1}{\mathrm{EI}}$ autour de Ay; nous désignons la valeur de ce coefficient par $\mathrm{J}_{\mathrm{B}}^{\mathrm{A}}$.

L'équation (8) devient, en remplaçant :

$$(9) \qquad \theta_{\mathrm{B}} = -\frac{1}{l}\left(\mu_{\mathrm{A}} \times \mathrm{M}_{\mathrm{B}}^{\mathrm{A}} + \frac{\mu_{\mathrm{B}} - \mu_{\mathrm{A}}}{l}\, \mathrm{J}_{\mathrm{B}}^{\mathrm{A}}\right) + \frac{1}{l}\, mom.{}_{\mathrm{B}}^{\mathrm{A}} \frac{\mathcal{M}}{\mathrm{EI}}.$$

La valeur du terme $\frac{1}{l}\, mom.{}_{\mathrm{B}}^{\mathrm{A}} \frac{\mathcal{M}}{\mathrm{EI}}$ peut toujours être calculée ou déterminée graphiquement *à priori*.

L'équation (3) donne lieu à une transformation semblable, et il vient :

$$(10) \qquad -\theta_{\mathrm{B}} = -\frac{1}{l'}\left(\mu_{\mathrm{C}} \times \mathrm{M}_{\mathrm{B}}^{\mathrm{C}} + \frac{\mu_{\mathrm{B}} - \mu_{\mathrm{C}}}{l'} \times \mathrm{J}_{\mathrm{B}}^{\mathrm{C}}\right) + \frac{1}{l'}\, mom.{}_{\mathrm{B}}^{\mathrm{C}} \frac{\mathcal{M}}{\mathrm{EI}}.$$

En égalant les deux valeurs qu'on obtiendrait aussi pour θ_{B}, et simplifiant, il vient :

$$(\mathrm{K}) \qquad \begin{aligned} &\mu_{\mathrm{A}}\left(\frac{\mathrm{M}_{\mathrm{B}}^{\mathrm{A}}}{l} + \frac{\mathrm{J}_{\mathrm{B}}^{\mathrm{A}}}{l^2}\right) + \mu_{\mathrm{B}}\left(\frac{\mathrm{J}_{\mathrm{B}}^{\mathrm{A}}}{l^2} + \frac{\mathrm{J}_{\mathrm{B}}^{\mathrm{C}}}{l'^2}\right) + \mu_{\mathrm{C}}\left(\frac{\mathrm{M}_{\mathrm{B}}^{\mathrm{C}}}{l'} - \frac{\mathrm{J}_{\mathrm{B}}^{\mathrm{C}}}{l'^2}\right) \\ &= \frac{1}{l}\, mom.{}_{\mathrm{B}}^{\mathrm{A}} \frac{\mathcal{M}}{\mathrm{EI}} + \frac{1}{l'}\, mom.{}_{\mathrm{B}}^{\mathrm{C}} \frac{\mathcal{M}}{\mathrm{EI}}, \end{aligned}$$

Équation générale, qui ne suppose rien, ni sur la répartition des charges, ni sur la disposition de la matière dans la poutre, et de laquelle se déduiraient facilement les équations (G) et (H) précédentes, que nous avons ici démontrées les premières, simplement dans le but de rendre l'exposition de notre méthode plus rapide et plus facilement saisissable.

Il peut arriver que les appuis sur lesquels la poutre repose, subissent certains tassements qui modifient leurs niveaux; dans ce cas, les coor-

données y_1, y_2, y_3 des formules (2) et (3) ne seraient pas nulles, et la formule (K) devient :

$$(L)\quad \mu_A\left(\frac{M_B^A}{l}-\frac{J_B^A}{l^2}\right)+\mu_B\left(\frac{J_B^A}{l^2}+\frac{J_B^C}{l'^2}\right)+\mu_C\left(\frac{M_B^C}{l'}-\frac{J_B^C}{l'^2}\right)$$

$$=\frac{1}{l}\,mom.{}_B^A\,\frac{\mathcal{M}}{EI}+\frac{1}{l'}\,mom.{}_B^C\,\frac{\mathcal{M}}{EI},+\frac{y_1-y_2}{l}+\frac{y_3-y_2}{l'}$$

Remarque. — Dans les formules (2) et (3) les valeurs de y_1, y_2, y_3, représentent une déformation, et dans la formule (L) elles devront représenter seulement la valeur du tassement, c'est-à-dire que si, avant la déformation, les appuis ne se trouvaient pas tout à fait de niveau, par suite de ce que la fibre moyenne de la poutre aurait, avant la déformation, une forme un peu différente de la ligne droite, les valeurs de ces dénivellations initiales ne devraient pas figurer dans les valeurs y_1, y_2, y_3, et tout se passera, dans ce cas, comme si la poutre était primitivement droite.

On aura d'ailleurs rarement à examiner ce dernier cas dans la pratique.

Remarque sur les coefficients M et J.

Les coefficients M et J que nous introduisons dans les équations (K) et (L), sont l'un le moment, et l'autre, le moment d'inertie, pris entre les mêmes limites, de la surface des $\frac{1}{EI}$.

Or nous remarquerons que, dans la généralité des applications aux constructions en fer, les surfaces des $\frac{1}{EI}$ sont composées d'une série de rectangles dont il est facile de déterminer le moment et le moment d'inertie, c'est-à-dire que, dans ce cas, ces coefficients M et J seront d'un calcul facile ; en effet, les valeurs de $\frac{1}{EI}$ sont proportionnelles à celles des $\frac{RI}{V}$, qu'il est d'usage de figurer pour établir la distribution des

fers dans les poutres, et dont la surface, ainsi qu'on le sait, est généralement composée d'une série de rectangles.

Dès lors, la surface des $\frac{1}{EI}$ serait également composée d'une série de rectangles. Ajoutons qu'il se présente, naturellement, dans les applications des réductions de surfaces en d'autres, ce qui diminue le nombre des éléments à calculer et le ramène à cinq ou six au plus. — L'application numérique et l'épure qui est relative au calcul de ces valeurs (fig. 7) montrent bien les opérations à effectuer.

Forme et usage des équations (*G*) (*H*) (*K*) (*L*).

Les relations que nous venons d'établir entre les trois moments : μ_A, μ_B, μ_C, sont toutes les quatre de la forme

$$a.\mu_A + b.\mu_B + c. \times \mu_C = D. + \frac{y_A - y_B}{l} + \frac{y_C - y_B}{l'}$$

En appliquant, suivant le cas, celle de ces quatre relations que l'on aura jugé convenable, successivement à toute la série des travées d'une poutre continue, on obtiendra un groupe d'équations contenant les moments inconnus au premier degré et en nombre suffisant pour déterminer ces inconnues. Nous allons montrer, dans le chapitre suivant, comment on peut arriver à cette détermination.

CHAPITRE III.

Nouvelle manière de présenter la résolution des équations des trois moments.

Nous allons indiquer le mode de résolution qu'il conviendra d'employer dans la résolution du groupe d'équations entre les moments sur les appuis. Ce mode ne diffère pas sensiblement, comme marche générale, de celui qu'a donné M. Bresse dans la troisième partie de sa Mécanique appliquée, sauf que nos relations sont générales. Cependant

au lieu de recourir à un procédé d'algèbre pour présenter les séries dont on a besoin pour cette résolution, nous les obtenons directement, ce qui a pour avantage de mieux mettre en évidence l'effet de la superposition des moments.

Résolution des équations des trois moments.

Il sera avantageux, pour arriver à l'étude de tous les modes de surcharge de la poutre, de déterminer la variation produite sur les valeurs des moments sur les appuis, par l'effet d'une charge appliquée sur une travée quelconque.

Variations des moments sur les appuis, par suite de l'application d'une charge sur une travée quelconque.

Considérons une poutre continue de n travées, numérotées depuis 1 jusqu'à n (fig. 5), reposant sur $n+1$ appuis, numérotés depuis 0 jusqu'à n, le numéro de la travée étant porté par l'appui de droite.

Nous supposerons d'abord que les appuis sont de niveau.

Sous l'action du poids propre de la poutre, et d'un mode quelconque de surcharge, les moments sur les appuis ont pris les valeurs

$$\mu_1, \mu_2, \mu_3 \ldots\ldots \qquad \mu_k \ldots\ldots \qquad \mu_{n-1}$$

les moments portent les indices des appuis sur lesquels ils se produisent.

Sur les culées nous supposons les moments nuls :

$$\mu_0 = 0 \qquad \mu_n = 0$$

Entre tous ces moments, nous appliquons les formules que nous venons d'établir, et nous obtenons le groupe des relations suivant :

$$(\mu) \qquad \begin{array}{r|r} 1 & b_1\mu_1 + c_1\mu_2 = D_1 \\ 2 & a_2\mu_1 + b_2\mu_2 + c_2\mu_3 = D_2 \\ 3 & a_3\mu_2 + b_3\mu_3 + c_3\mu_4 = D_3 \end{array}$$

$$(\mu)\quad \begin{array}{r|l} & \cdots\cdots\cdots\cdots \\ & \cdots\cdots\cdots\cdots \\ k-1 & a_{k-1}\mu_{k-2}+b_{k-1}\mu_{k-1}+c_{k-1}\mu_k = D_{k-1} \\ k & a_k\ \mu_{k-1}+b_k\ \mu_k\ +c_k\ \mu_{k+1}=D_k \\ & \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ & \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ n-2 & a_{n-2}\mu_{n-3}+b_{n-2}\mu_{n-2}+c_{n-2}\mu_{n-1}=D_{n-2} \\ n-1 & a_{n-1}\mu_{n-2}+b_{n-1}\mu_{n-1} = D_{n-1} \end{array}$$

Nous appellerons ce groupe d'équations, le groupe (μ).

On applique alors une surcharge additionnelle sur la travée N° k; les moments sur les appuis de la poutre prennent de nouvelles valeurs :

$$\mu'_1,\ \mu'_2,\ \mu'_3 \ldots\ldots \qquad \mu'_k \ldots\ldots \qquad \mu'_{n-2},\ \mu'_{k-1},$$

entre lesquelles on obtient un nouveau groupe d'équations semblable au premier, et que nous appellerons le groupe (μ'). Les équations des groupes (μ) et (μ') ont même second membre, sauf dans les deux équations N° $k-1$ et N° k, qui sont relatives à la travée surchargée; nous n'écrirons que ces deux équations pour le groupe (μ').

$$(\mu')\quad \begin{array}{r|l} k-1 & a_{k-1}\mu'_{k-2}+b_{k-1}\mu'_{k-1}+c_{k-1}\mu'_k = D_{k-1}+A. \\ k & a_k\mu'_{k-1}+b_k\mu'_k+c_k\mu'_{k+1} = D_k+B. \end{array}$$

Dans ces deux équations,

$$A=\frac{1}{l_k}\,mom.{}_{k-1}^{k}\,\frac{\mathcal{M}}{EI} \qquad B=\frac{1}{l_k}\,mom.{}_{k}^{k-1}\,\frac{\mathcal{M}'}{EI},$$

en désignant par $\mathcal{M}'$, les valeurs des moments en tous points que produirait la charge *additionnelle*, sur la travée k, considérée comme sciée sur ses appuis.

Si on retranche membre à membre, les équations du groupe (μ) de celles du groupe (μ'), on obtiendra un troisième groupe en $(\mu'-\mu)$, semblable aux premiers, seulement, les seconds membres seront nuls dans ce dernier, sauf pour les équations N°s $k-1$ et k.

Nous désignerons, en général, les valeurs de $(\mu'-\mu)$ par la lettre m.

Les valeurs de m donneront spécialement les variations produites dans les valeurs des moments fléchissants par l'effet de la surcharge additionnelle.

Le groupe des équations (m) sera :

$$
(m)\left|\begin{array}{llllll}
1 & & b_1 m_1 & + c_1 m_2 & = 0. \\
2 & a_2 m_1 & + b_2 m_2 & + c_2 m_3 & = 0. \\
\ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\
\ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\
k-2 & a_{k-2} m_{k-3} & + b_{k-2} m_{k-2} & + c_{k-2} m_{k-1} & = 0. \\
k-1 & a_{k-1} m_{k-2} & + b_{k-1} m_{k-1} & + c_{k-1} m_k & = A. \\
k & a_k m_{k-1} & + b_k m_k & + c_k m_{k+1} & = B. \\
k+1 & a_{k+1} m_k & + b_{k+1} m_{k+1} & + c_{k+1} m_{k+2} & = 0. \\
\ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\
\ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\
n-2 & a_{n-2} m_{n-3} & + b_{n-2} m_{n-2} & + c_{n-1} m_{n-1} & = 0. \\
n-1 & a_{n-1} m_{n-2} & + b_{n-1} m_{n-1} & & = 0.
\end{array}\right.
$$

Détermination des valeurs de m.

Dans ce groupe des équations (m), les $k-2$ premières équations ont leur second membre nul et elles contiennent $k-1$ inconnues, depuis m_1 jusqu'à m_{k-1} inclusivement ; c'est-à-dire, une inconnue de plus qu'il n'y a d'équations. De même, les $n-k-2$ dernières équations du groupe (m), dans lesquelles le second terme est également nul, contiennent une inconnue de plus qu'il n'y a d'équations.

Nous allons prendre l'inconnue m_1 pour unité dans les $k-2$ premières équations.

Posons alors :

$$m_1 = 1 = u_1.$$

$$\frac{m_2}{m_1} = u_2.$$

$$\frac{m_3}{m_1} = u_3.$$

$$\frac{m_{k-1}}{m_1} = u_{k-1}.$$

On obtiendra ainsi le groupe des équations (u) :

$$(u)\left|\begin{array}{lllll} 1 & & b_1 \times 1 & + c_1 u_2 & = 0. \\ 2 & a_2 \times 1 & + b_2 u_2 & + c_2 u_3 & = 0. \\ 3 & a_3 u_2 & + b_3 u_3 & + c_3 u_4 & = 0. \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ k-2 & a_{k-2} u_{k-3} & + b_{k-2} u_{k-2} & + c_{k-2} u_{k-1} & = 0. \end{array}\right.$$

Ces équations (u) sont immédiatement résolubles, on en tirera les valeurs de u qui permettront de calculer m_2, m_3, m_{k-1}, lorsqu'on aura pu déterminer m_1.

La première équation (u) fournira la valeur de u_2, laquelle, substituée dans la deuxième équation, permettra d'obtenir celle de u_3, et ainsi de suite jusqu'à u_{k-1} qui sera obtenu au moyen de la $k-2$ et dernière équation du groupe (u). — Il est utile de remarquer que ces nombres u sont alternativement positifs et négatifs.

Dans les $n-k-2$ dernières équations du groupe (m) nous poserons de même :

$$m_{n-1} = v_{n-1} \times 1,$$

$$\frac{m_{n-2}}{m_{n-1}} = v_{n-2}.$$

$$\frac{m_{n-3}}{m_{n-1}} = v_{n-3}.$$

$$\ldots \ldots$$

$$\frac{m_{k-3}}{m_{n-1}} = v_{k-3}.$$

Nous ferons remarquer que nous avons conservé pour les valeurs de v, les indices des appuis sur lesquels se produisent les moments correspondants.

Nous déterminerons ainsi un deuxième groupe de valeurs v que l'on tirera des équations (v) de la même manière que précédemment pour les valeurs u, et ces valeurs de v seront comme celles de u alternativement positives et négatives. Ces valeurs permettront de déterminer les moments additionnels à droite de la travée k, lorsque l'on aura pu déterminer la valeur de m_{n-1}.

Les valeurs des nombres u et v ne dépendent que de la disposition

des appuis et de la répartition de la matière dans la poutre. Dans une poutre symétrique par sa construction, les nombres de ces séries u et v seront deux à deux égaux, lorsqu'ils se rapporteront à des appuis symétriquement placés.

Ces nombres u et v possèdent des propriétés intéressantes pour lesquelles nous renverrons aux ouvrages spéciaux, notamment à l'ouvrage de M. Bresse ainsi qu'à celui de M. Collignon. Une partie des propriétés signalées dans ces ouvrages suppose, du reste, la section de la poutre constante.

Détermination des moments m_1 et m_{n-1} sur les appuis extrêmes.

Les nombres des séries u et v étant déterminés, les deux équations $(k-1)$ et (k) permettent de déterminer les moments m_1 et m_{n-1}.

A cet effet, dans ces deux équations, nous remplacerons les moments qui y figurent par leur valeur en fonction de m_1 et m_{n-1}.

Il vient alors :

$$(1) \qquad m_1 (a_{k-2} u_{k-2} + b_{k-1} u_{k-1}) + m_{n-1} v_k c_{k-1} = \mathrm{A}.$$

$$(2) \qquad m_1 \; a_k u_{k-1} \qquad + m_{n-1} (b_k v_k + c_k v_{k-1}) \qquad = \mathrm{B}.$$

Les coefficients entre parenthèses peuvent se remplacer par leurs valeurs tirées des équations des groupes u et v, savoir :

$$a_{k-1} u_{k-2} + b_{k-1} u_{k-1} = - c_{k-1} u_k.$$

$$b_k v_k \qquad + c_k v_{k-1} \quad = - a_k v_{k-1}.$$

En remplaçant il vient :

$$(3) \qquad - m_1 u_k \quad + m_{n-1} v_k \quad = \frac{\mathrm{A}}{c_{k-1}}.$$

$$(4) \qquad + m_1 u_{k-1} - m_{k-1} v_{k-1} = \frac{\mathrm{B}}{a_k}.$$

Ces deux équations permettent de déterminer m_1 et m_{n-1}.

On en tire :

$$(m) \qquad m_1 = \frac{\mathrm{A} a_k v_{k-1} + \mathrm{B} c_{k-1} u_k}{a_k c_{k-1} (u_{k-1} v_k - u_k v_{k-1})}.$$

$$(m_{n-1}) \qquad m_{n-1} = \frac{\mathrm{A} a_k u_{k-1} + \mathrm{B} c_{k-1} u_k}{a_k c_{k-1} (u_{k-1} v_k - u_k v_{k-1})}.$$

Moment additionnel sur un appui quelconque.

Quand on aura ainsi obtenu m_1 et m_{n-1}, on calculera les moments sur les autres appuis par une simple multiplication des valeurs de u pour les appuis à gauche de la travée chargée, et de celles de v pour les appuis à droite.

On aura, en effet, d'une part :

$$m_2 = u_2 \times m_1 ;\ m_3 = u_3 \times m_1 ;\ \ldots\ldots\ m_{k-1} = u_{k-1} \times m_k$$

et d'autre part :

$$m_{n-2} = u_{n-2} \times m_{n-1} ;\ m_{n-3} = u_{n-3} \times m_{n-1} ;\ \ldots\ldots\ m_k = u_k \times m_{n-1}.$$

On obtiendra, de la même manière, les valeurs des moments sur les appuis, résultant d'une charge sur une quelconque des travées, et on n'aura plus qu'à superposer les moments ainsi obtenus pour une certaine disposition des charges sur l'ensemble de la poutre, pour obtenir les valeurs des moments résultants sur les appuis. L'application numérique, que nous allons donner tout à l'heure, fera bien voir comme s'opère cette superposition.

Propriétés des moments additionnels.

Une analyse qu'il serait trop long de rappeler ici, mais que l'on trouvera dans les ouvrages déjà cités, celui de M. Bresse, et celui de M. Collignon, conduit aux résultats suivants, relativement aux signes et aux valeurs relatives des moments additionnels.

Les moments résultant d'une surcharge additionnelle sur une travée quelconque, sont toujours négatifs sur les appuis de cette même travée, et, à partir de ces appuis, les moments à droite ou à gauche de la travée sont alternativement positifs ou négatifs. (Nous nous conformons, pour les signes des moments, à la convention que nous avons adoptée, et qui est du reste différente de celle de M. Bresse.) Cette alternance des signes résulte immédiatement de ce que les nombres des séries u, ainsi que ceux des séries v, sont alternativement positifs et négatifs.

De la fixité de ces mêmes nombres u et v pour une même poutre, il

résulte encore que les moments additionnels pris à droite, comme à gauche de la travée considérée, restent dans un rapport constant, quelle que soit la valeur de la surcharge additionnelle, et aussi, pour toute charge sur une travée située d'un même côté (à droite ou à gauche) de la travée considérée ; de telle façon que, si on représente par deux ordonnées, deux de ces moments consécutifs, lesquels, ainsi qu'on vient de le dire plus haut, seront de signes contraires, la ligne qui joindrait les extrémités de ces ordonnées coupera l'axe en un point qui restera fixe (fig. 5).

Lorsque $\frac{1}{EI}$ est supposé constant sur toute la longueur de la poutre, on obtient une certaine loi de croissance entre les valeurs de ces moments additionnels consécutifs, laquelle loi est celle des nombres *u* et *v*.

Lorsque $\frac{1}{EI}$ est variable, ce qui se produit presque toujours, cette loi de croissance se trouve légèrement modifiée, ainsi que nous le montrerons tout à l'heure par une application numérique.

CHAPITRE IV.

Application numérique.

Nous allons montrer, par une application numérique, quels sont les écarts qui peuvent se produire dans les valeurs des moments sur les appuis d'une poutre continue, lorsque l'on tient compte des variations des sections ou lorsqu'on les néglige.

Poutre en trois travées égales de 40^m,00 *de portée chacune.*

Nous considérerons une poutre en trois travées égales de 40^m,00 de portée chacune ; nous avons choisi cet exemple simple, parce que c'est celui qui a été pris par M. Bresse dans l'étude de l'effet des dénivellations, qu'il a exposé à la fin de son ouvrage très remarquable et bien

connu sur les poutres continues. Nous pourrons aussi comparer les résultats qu'il a obtenus avec ceux que donnera l'application de notre nouvelle méthode.

Nous avons d'abord calculé la poutre en supposant $\frac{1}{EI}$ constant et les charges uniformément réparties, à raison de 1,000 kilos par mètre courant pour le poids mort, et de 2,000 kilos par mètre courant pour la surcharge.

Les diverses hypothèses de répartition les plus défavorables des surcharges sur les travées, nous ont conduit à une courbe enveloppe des moments, à l'aide de laquelle nous avons calculé les sections de la poutre par la formule :

$$R = \frac{V\mu}{I},$$

en prenant :

$$V = \frac{h}{2} = 1,75$$

$$R = 6 \times 10^6.$$

h est la hauteur de la poutre.

Nous nous sommes donné une section courante représentée (fig. 8), et dont le moment résistant a pour valeur 166 tonnes-mètres, en prenant $R = 6^k \times 10^6$.

Nous avons ensuite figuré une distribution des fers (fig. 6).

C'est sur cette poutre, établie dans les conditions usuelles, que nous allons faire la comparaison des résultats que donneraient d'une part, l'application des formules restreintes, et d'autre part, l'application de la formule générale que nous venons d'établir.

Nous supposerons d'abord les appuis de niveau, et nous nous proposerons de déterminer les valeurs des moments fléchissants sur les appuis, dans l'hypothèse d'une charge de 3,000 kilos par mètre courant, uniformément répartie sur toute la longueur de la poutre.

Nous examinerons les deux cas suivants :

1° La valeur de $\frac{1}{EI}$ est supposée constante ;

2° La valeur de $\frac{1}{EI}$ est variable.

Détermination des moments sur les appuis dans le cas de $\frac{1}{EI}$ supposé constant.

Lorsqu'on suppose la valeur de $\frac{1}{EI}$ constante, les nombres u et v, dont nous avons parlé tout à l'heure, ont pour valeur, pour une poutre à trois travées égales :

Sur la culée de gauche	$u_0 = 0$	$v_0 = 15$
1re pile	$u_1 = 1$	$v_1 = -4$
2e pile	$u_2 = -4$	$v_2 = 1$
Culée de droite.	$u_3 = 15$	$v_3 = 0$

La formule (m_{n-1}) nous donne :

$$m_{n-1} = \frac{A u_{k-1} + B u_k}{l(v_k u_{k-1} - u_k v_{k-1})}$$

dans laquelle

$$A = B = \frac{6 S (l - \lambda_k)}{l}$$

$$S(l - \lambda_k) = \frac{1}{24} p l^4, \qquad p = 3^t.$$

$$l = 40^m,00.$$

On tire $A = B = 48000$.

La charge étant sur la première travée seulement, on aura, par la formule (m_{n-1}) :

$$m_2^1 = \frac{48000 \times 1}{600} = 80^{t.m}.$$

L'indice inférieur indique le numéro de l'appui où se produit le moment, et l'indice supérieur, le numéro de la travée qui reçoit la surcharge.

Notons en passant, que lorsque l'on suppose $\frac{1}{EI}$ constant, le dénominateur des expressions m_1 et m_{n-1} est constant, quelle que soit la travée chargée, ici ce dénominateur constant est égal à 600.

De la valeur de m_2^1, on tire :

$$m_2^1 = m_2^1 \times v_1 = -4 \times 80 = -320^{t.m}.$$

Lorsque la charge occupera la 2ᵉ travée, on aura :

$$m_1^2 = \frac{48000 \times (1-4)}{600} = -240^{t.m}.$$

On aura, par raison de symétrie :

$$m_2^2 = m_1^2 = -240^{t.m}.$$

Lorsque la charge occupera la 3ᵉ travée, on aura encore, à cause de la symétrie :

$$m_1^3 = m_2^1 = 80^{t.m}.$$

La superposition des moments nous donnera enfin, lorsque la charge occupera les trois travées en même temps :

$$m_1^{1,2,3} = m_1^1 + m_1^2 + m_1^3 = -(320 + 240) + 80 = -480^{t.m},$$

et à cause de la symétrie :

$$m_2^{1,2,3} = m_1^{1,2,3} = -480^{t.m}.$$

Telles sont les valeurs des moments pour la surcharge considérée, lorsqu'on suppose $\frac{1}{EI}$ constant.

Moments sur les appuis dans le cas de $\frac{1}{EI}$ variable.

Nous allons maintenant tenir compte des variations de $\frac{1}{EI}$.

Les valeurs de u_1 et u_2 seront données par les équations suivantes :

(1) $u_1 = 1,$

(2) $b_1 u_1 + c_1 u_2 = 0,$

(3) $a_2 u_1 + b_2 u_2 + c_2 u_3 = 0.$

Dans ces équations on a, d'après la formule (K) :

$$b_1 = \frac{J_B^A}{l^2} + \frac{J_B^C}{l^2}, \qquad a_2 = \frac{M_C^B}{l} - \frac{J_C^B}{l^2},$$

$$c_1 = \frac{M_B^C}{l} - \frac{J_B^C}{l^2}, \qquad b_2 = \frac{J_B^D}{l^2} + \frac{J_C^B}{l^2}.$$

$$c_2 = \frac{M_C^D}{l} - \frac{J_C^D}{l^2}.$$

Pour calculer les valeurs de M et de J, on aura, ainsi qu'on le sait, à prendre les moments et les moments d'inertie des surfaces des $\frac{1}{EI}$; ces surfaces se composent, comme le montre la figure (fig. 7), d'abord d'un rectangle dont la hauteur est la valeur de $\frac{1}{EI}$ correspondante à la section dite courante. Nous avons indiqué plus haut, que la section courante a un moment résistant égal à 166 tonnes-mètres. La valeur du moment d'inertie correspondant peut s'obtenir à l'aide de la formule :

$$R = \frac{V\mu}{I},$$

On aura alors pour $\frac{1}{EI}$, la valeur :

$$\frac{1}{EI} = \frac{6 \times 10^6}{1,75 \times 16 \times 10^9 \times 166} = \frac{1,29}{10^6}$$

en prenant $E = 16 \times 10^9$.

De ce rectangle qui a pour hauteur $\frac{1,29}{10^6}$, on doit déduire quatre ou cinq surfaces réductibles avec une suffisante exactitude, soit à un rectangle ou un triangle, ou un trapèze. Le calcul des coefficients M et J est donc facile.

Nous avons trouvé :

$$M_B^A = M_C^D = \frac{15,59}{10^6}, \qquad J_B^A = J_C^D = \frac{10,74}{10^6},$$

$$M_B^C = M_C^D = \frac{17,35}{10^6}, \qquad J_B^C = J_C^B = \frac{11,29}{10^6},$$

On en tire :

$$b_1 = \frac{22,03}{10^6}, \qquad a_2 = \frac{6,09}{10^6},$$

$$c_1 = \frac{6,09}{10^6}, \qquad b_2 = \frac{22,03}{10^6},$$

$$c_2 = \frac{4,85}{10^6}.$$

En remplaçant ces valeurs dans les équations (2) et (3) et résolvant, on obtient :

$$u_1 = 1 \quad = v_3.$$
$$u_2 = 3{,}617 = v_2,$$
$$u_3 = 15{,}17 = v_1.$$

Ces valeurs de u et de v diffèrent peu de celles que l'on a obtenues en supposant $\frac{1}{EI}$ constant.

La formule (m_{n-1}) va nous donner les valeurs des moments $m_1^{1,2,3} = m_2^{1,2,3}$:

$$m_{n-1} = \frac{A_k a_k u_{k-1} + B_k c_{k-1} u_k}{a_k c_{k-1}(u_k v_k - u_k v_{k-1})}.$$

Nous avons calculé les valeurs de :

$$B_1 = 5480$$

et

$$A_2 = B_2 = 7142.$$

Pour obtenir ces valeurs, nous avons dû calculer le moment de la surface des $\frac{\mathcal{M}}{EI}$. Cette surface se compose, pour chaque travée, d'une surface semblable à celle des moments $\mathcal{M}$, c'est-à-dire d'un segment parabolique, puisque la charge est uniformément répartie; le rapport de similitude étant la valeur de $\frac{1}{EI}$ pour la section courante que nous avons trouvée égale à $\frac{1{,}29}{10^6}$. De cette surface on a à déduire deux ou trois surfaces qui se réduisent avec une approximation très suffisante à des rectangles, des triangles ou des trapèzes (fig. 7). Nous avons donné, à propos de l'établissement de la formule de Clapeyron, l'expression du moment d'un segment parabolique; le calcul des nombres A et B ne présente encore aucune difficulté.

En remplaçant dans (m_{n-1}) les lettres et les indices par leurs valeurs, on obtient :

$$m_1^2 = \frac{5480}{73{,}59} = 74{,}48;$$

d'où :

$$m_1^1 = m_1^2 \times u_1 = 74{,}48 \times -3{,}617 = -269{,}4.$$

On aura de même :

$$m_2^2 = m_1^2 = \frac{7142(1-3,617)}{73,59} = -254\,;$$

d'où :

$$m_1^{1,2,3} = m_2^{1,2,3} = -(254 + 269,4) + 74.48,$$

ou, en effectuant :

$$m_1^{1,2,3} = m_2^{1,2,3} = -449^{t.m}.$$

Dans le cas de $\frac{1}{EI}$ supposé constant, nous avons trouvé :

$$m_1^{1,1,3} = m_2^{1,2,3} = 480^{t.m}.$$

La différence entre ces deux valeurs est de $31^{t.m}$, soit une erreur relative de :

$$\frac{31}{480} = 0,0645$$

ou un peu plus de 5 pour 100. Cet écart, bien que peu important, ne peut pas être considéré comme négligeable.

Les limites dans lesquelles nous devons comprendre ce travail ne nous permettent pas de citer d'autres exemples, mais nous pouvons dire que les résultats que nous avons trouvés pour d'autres applications concordent avec ceux que nous venons d'exposer.

Nous ne parlons ici, bien entendu, que d'applications faites sur des poutres établies dans des conditions usuelles, et calculées pour satisfaire à tous les modes de surcharges exigés. Des conditions d'établissement exceptionnelles pourront modifier sensiblement ces résultats.

Nous ajoutons que, à notre avis, c'est surtout sur l'étude des effets des charges roulantes que doit s'appesantir la discussion des valeurs de ces réactions.

Effet des dénivellations sur les poutres continues.

Nous croyons devoir, pour terminer, étudier, par notre formule, les effets de la dénivellation sur les poutres continues.

Nous allons montrer que ces effets sont bien moindres qu'on ne le croit généralement.

Nous allons opérer sur la poutre en trois travées de 40^m,00 étudiée ci-dessus, en ayant soin de mettre en parallèle les résultats que nous obtiendrons, en tenant compte, par nos formules, de la variation des sections, avec ceux qui ont été trouvés pour la même application, dans l'ouvrage cité plus haut. On se rendra bien compte ainsi de l'écart entre les résultats, et des raisons qui le produisent.

Application à une poutre en trois travées de 40^m,00 *de portée chacune.*

Reprenons l'application de la poutre en trois travées que nous venons de calculer, et supposons qu'il s'est produit une dénivellation égale à $+f$ pour la pile n° 1 (fig. 9), et à $-f$ pour la pile n° 2, ce qui, en réalité, constitue une dénivellation totale $2f$ entre les deux piles, combinée avec une dénivellation f pour chacune des culées.

Nous avons conservé la notation de M. Bresse, cette notation suppose que la pile n° 2 était primitivement au-dessus de l'axe, car nous n'admettons pas qu'une des piles se soit relevée.

Effet de la dénivellation dans le cas où $\frac{1}{EI}$ *est supposé constant.*

Avant la dénivellation, les moments sur les appuis étaient liés par les relations connues :

$$(\mu) \qquad \begin{aligned} 4\,\mu_1 + \mu_2 &= D_1 \\ \mu_1 + 4\,\mu_2 &= D_2 \end{aligned}$$

Après la dénivellation, les moments μ_1 et μ_2 ont pris les valeurs :

μ'_1 et μ'_2 liées par les relations :

$$(\mu') \qquad 4\,\mu'_1 + \mu'_2 = D_1 + \frac{6\,EI}{l^2} \times -3\,f.$$

$$\mu'_1 + 4\,\mu'_2 = D_2 + \frac{6\,EI}{l_2} \times 3\,f.$$

Ces équations résultent de l'application de l'équation générale (L).

En retranchant membre à membre les équations en μ des équations en μ', il vient :

$$(1) \qquad 4\,(\mu'_1 - \mu_1) + (\mu'_2 - \mu_2) = \frac{6\,\mathrm{EI}}{l^2} \times -3\,f.$$

$$(2) \qquad (\mu'_1 - \mu_1) + 4\,(\mu'_2 - \mu_2) = \frac{6\,\mathrm{EI}}{l^2} \times 3\,f.$$

Remplaçons les valeurs $(\mu' - \mu)$ par la lettre m, les équations (1) et (2) deviennent :

$$(3) \qquad 4\,m_1 + m_2 = \frac{6\,\mathrm{EI}}{l^2} \times -3\,f.$$

$$(4) \qquad m_1 + 4\,m_2 = \frac{6\,\mathrm{EI}}{l^2} \times 3\,f.$$

Les valeurs des moments m, sont celles des moments fléchissants qui résultent spécialement de la dénivellation ; elles sont indépendantes des charges, à condition toutefois que la poutre ne quitte pas ses appuis, ce que l'on devra d'abord vérifier. Ces moments m, se superposent aux moments provenant des charges.

On voit que les formules (3) et (4) permettent de déterminer, dans chaque cas particulier, les moments qui résultent d'une certaine flèche donnée f; on devra superposer ces moments à ceux qui proviennent des charges, ce qui modifiera la courbe enveloppe des moments, et permettra, au besoin, d'opérer un nouveau calcul, tenant compte de certaines dénivellations jugées possibles.

Valeur de f qui donnerait sur un appui un moment déterminé.

M. Bresse s'est proposé, dans l'exemple que nous étudions, de déterminer la valeur de f, qui doublerait le moment μ, obtenu en supposant une charge uniformément répartie sur les trois travées, c'est-à-dire de déterminer la flèche pour laquelle on aurait : $\mu'_1 = 2\,\mu_1$.

Remplaçons cette valeur de μ'_1 dans les équations (1) et (2), il viendra :

$$(5) \qquad 4\,\mu_1 + m_2 = \frac{6\,\mathrm{EI}}{l^2} \times -3\,f.$$

(6) $$\mu_1 + 4\, m_2 = \frac{6\,\mathrm{E\,I}}{l_2} \times 3\, f.$$

On en tire : $$f. = -\frac{\mu_1 \times l^2}{6\,\mathrm{E\,I}}.$$

Pour déterminer I, M. Bresse se sert de la formule :

$$\mathrm{I} = \frac{\mathrm{V} \times \mu}{\mathrm{R}},$$

et il admet que l'on a pris pour section moyenne, celle qui résulte de $\mu = \mu_1$, valeur du moment sur une pile. Cette valeur est de $\mu_1 = \frac{1}{10}\, pl^2$ dans le cas d'une charge uniformément répartie.

Notons, en passant, que cette valeur est un maximum; elle est beaucoup trop considérable (près de deux fois).

M. Bresse a pris, pour la valeur de V :

$$\mathrm{V} = \frac{h}{2} = \frac{0{,}08\, l}{2}.$$

Nous avons adopté une valeur un peu différente :

$$\mathrm{V} = \frac{0{,}0875\, l}{2}.$$

Cela modifiera légèrement le résultat. On verra par là, l'influence que peut avoir la hauteur de la poutre sur les effets des dénivellations.

M. Bresse suppose encore que l'on a calculé les sections sur une base de $\mathrm{R} = 3^k \times 10^6$, pour tenir compte, dit-il, des charges accidentelles ; cela n'est pas nécessaire dans le calcul d'une section moyenne. On vient de démontrer, du reste, que les effets de la dénivellation sont indépendants des charges.

Nous admettons que l'on aura, ainsi qu'on le fait presque toujours, déterminé la section en prenant $\mathrm{R} = 6^k \times 10^6$.

Nous adoptons cette valeur, en nous rappelant que nous doublons par là, la valeur de f que M. Bresse aurait trouvée dans son calcul.

Dans ces conditions nous aurons :

$$\mathrm{I} = \frac{0{,}0875 \times l \times \mu_1}{2 \times 6 \times 10^6}.$$

On a trouvé pour f la valeur,

$$f = \mu_1 \times \frac{l^2}{6\,\mathrm{EI}},$$

d'où on tire, en remplaçant I par l'expression donnée ci-dessus :

$$f = \frac{2\,l \times 10^6}{20 \times 10^9 \times 0{,}0875} = \frac{l}{875},$$

qui suppose $\mathrm{E} = 20 \times 10^9$.

Si on fait $l = 40^m{,}00$, il vient pour f :

$$f = \frac{40}{875} = 0^m{,}0456.$$

Ce qui suppose, entre les deux piles, une dénivellation égale à $2\,f = 0^m{,}0912$.

M. Bresse a trouvé, avec un coefficient $\mathrm{R} = 3^k \times 10^6$, et $\mathrm{E} = 20^k \times 10^9$ et pour $h = \frac{0{,}08\,l}{2}$, la valeur de $2\,f$ égale à $0^m{,}05$; il aurait trouvé $0^m{,}10^c$ en prenant, comme nous l'avons fait, $\mathrm{R} = 6^k \times 10^6$.

Influence de la hauteur de la poutre.

La différence entre ces flèches ($0^m{,}1 - 0^m{,}0912$) provient de la différence entre les valeurs de V, que nous avons signalée tout à l'heure.

On voit que plus la poutre est haute et moins elle se prête facilement aux dénivellations, ce qu'il était facile de prévoir.

Influence du coefficient d'élasticité E, admis dans le calcul.

Le coefficient d'élasticité que nous avons admis est égal à $\mathrm{E} = 20^k \times 10^9$: mais on peut le réduire, ainsi que l'a fait M. de Dion, à $\mathrm{E} = 16^k \times 10^9$.

Les flèches trouvées augmenteraient dans les mêmes proportions et deviendraient :

Pour $h = 0{,}0875 \times l$ $\qquad 2\,f = 0{,}112$.

Pour $h = 0{,}08 \times l$ $\qquad 2\,f = 0{,}125$.

Ces résultats sont déjà plus rassurants que celui qui a été présenté par M. Bresse, attendu que les déformations que nous venons de trouver seraient visibles et appelleraient une réparation qu'il serait facile de faire par un calage. Les écarts entre ces valeurs proviennent : d'une part, de la différence entre les hauteurs des deux poutres, et, d'autre part, de la différence entre les valeurs des coefficients R et E adoptés.

Ces chiffres vont augmenter notablement lorsque nous tiendrons compte des valeurs réelles de $\frac{1}{EI}$.

Effet des dénivellations, lorsque $\frac{1}{EI}$ *est variable.*

Lorsque l'on tiendra compte des variations des sections, les valeurs de m_1 et m_2 seront données par les équations :

$$(7) \qquad b_1 m_1 + c_1 m_2 = - \frac{3f}{l},$$

$$(8) \qquad a_2 m_1 + b_2 m_2 = + \frac{3f}{l},$$

tirées de l'équation générale (L) et où on aura à remplacer les coefficients a et b par les valeurs trouvées plus haut dans le calcul de la poutre :

$$b_1 = \frac{22{,}03}{10^6}$$

$$c_1 = \frac{6{,}09}{10^6}$$

$$l = 40^m{,}00.$$

$$a_2 = \frac{6{,}09}{10^6}$$

$$b_2 = \frac{22{,}03}{10_6}$$

Remplaçant, il vient :

$$22{,}03 \times m_1 + 6{,}09 \times m_2 = - \frac{3f}{10} \times 10^6,$$

$$6{,}09 \times m_1 + 22{,}03 \times m_2 = + \frac{3f}{40} \times 10^6.$$

On tire de ces équations une valeur de f en fonction de m_1 :

$$f = -\frac{40\,(\overline{22{,}03}^2 - \overline{6{,}09}^2)}{3\,(22{,}03 + 6{,}09) \times 10^6} \times m_1.$$

Pour calculer les dimensions de la poutre, nous avons supposé $p = 3$ tonnes par mètre courant, ce qui nous a conduit à un moment $m_1 = \frac{1}{10} pl^2 = 480^{t.m.}$.

C'est cette valeur de $m_1 = 480^{t.m}$ qui nous a donné une flèche égale à :

$$2f = 0^m{,}0912.$$

C'est cette même valeur de m_1 que nous allons introduire dans la valeur de f ci-dessus, et il viendra pour la valeur de la dénivellation des piles produisant un moment supplémentaire égal à $480^{t.m}$.

$$2f = 0^m{,}204.$$

Remarquons que nos coefficients (a) et (b) des équations (7) et (8) ont été calculés en supposant $E = 16^k \times 10^9$. Pour $E = 20^k \times 10^9$, chiffre adopté par M. Bresse, la valeur de f deviendra :

$$2f = 0^m{,}1632.$$

Enfin, en prenant, comme l'a fait M. Bresse : $V = \frac{0{,}08 \times l}{2}$, au lieu de $\frac{0{,}0875 \times l}{2}$, on trouverait d'autres valeurs qui seraient, avec les précédentes, dans le rapport $\frac{0{,}0875}{0{,}08}$, savoir :

pour $E = 16 \times 10^9$, on aura : $2f = 0{,}224$;
pour $E = 20 \times 10^9$, » $2f = 0{,}179$.

C'est ce chiffre $2f = 0{,}179$ qui doit être mis en comparaison avec celui de $2f = 0{,}10$ de l'exemple de M. Bresse.

En résumé, nous pouvons admettre, pour la valeur de la dénivellation qui augmenterait dans ce dernier exemple de $480^{t.m}$ l'intensité du moment fléchissant sur l'appui, le chiffre $2f = 0^m{,}224$ correspondant à :

$$E = 16 \times 10^9.$$

Le travail du métal ne sera pas doublé pour cela, car l'hypothèse de

la surcharge uniformément répartie n'est pas celle qui donne le maximum dans la courbe enveloppe des moments.

Le moment moyen qu'il faudrait introduire dans le calcul pour obtenir la même flèche serait de $\frac{1}{17,9} pl^2$, au lieu de $\frac{1}{10} pl^2$ qui avait été choisi par M. Bresse.

On voit, par ce qui précède, qu'il est de toute importance, dans l'étude de l'effet des dénivellations, de tenir compte de la distribution de la matière dans la poutre. On peut voir également que rien ne serait plus simple que de prévoir, *à priori*, telle dénivellation qu'on jugerait possible, et d'ajouter, s'il y a lieu, du métal en certains points, ainsi qu'on le fait déjà pour les travées qui doivent se trouver en porte à faux pendant le lançage.

On pourrait exiger, par exemple, que pour une dénivellation de $0^m,25$ ou $0^m,30$ ou, même davantage, suivant les cas, et pour un mode de surcharges qu'on n'aurait pas de raison de prendre semblable à celui des surcharges d'épreuve, le travail du métal n'excède en aucun point, un chiffre de 10^k par millimètre carré, par exemple.

Nous admettons que la déformation étant très apparente, on s'empressera d'y porter remède, ce qui, dans tous les cas, sera toujours une opération très simple.

La dépense à laquelle on sera conduit, par l'addition de métal dont nous venons de parler, ne sera presque jamais comparable à l'économie qui résulte de la possibilité d'opérer le lançage de la poutre.

Il est résulté de cette exagération des effets de la dénivellation que nous venons de signaler, qu'un certain nombre d'ingénieurs se montrent peu favorables, et même quelques-uns complètement opposés, à l'emploi des poutres continues.

On comprendra qu'il est très intéressant de ne pas repousser, à cause d'inconvénients qui n'ont pas été bien étudiés, et qui, en tous cas, ne sont pas irrémédiables, une solution aussi pratique que celle des poutres continues, qui présentent un si grand avantage au point de vue de la mise en place de l'ouvrage.

Nous ne doutons pas qu'une étude plus approfondie ne fasse disparaître, à ce sujet, toute prévention.

Nous nous en tiendrons, dans cette communication, aux exemples

que nous venons de développer, et qui sont suffisants, croyons-nous, pour faire connaître l'esprit de notre méthode, et même pour en permettre l'application. Dans une publication ultérieure et prochaine, nous présenterons, d'une manière plus complète et plus méthodique, l'étude des problèmes généraux que comporte la théorie des poutres droites ou courbes.

NOTE

SUR QUELQUES CAS SPÉCIAUX DE MONTAGE

DES

PONTS MÉTALLIQUES

Par M. T. SEYRIG.

Dans quelques pays où l'on avait intérêt à réduire au minimum les dépenses de premier établissement des chemins de fer, on a employé, dans leur construction, de nombreux ponts en bois. Tels sont l'Amérique, la Russie, l'Autriche-Hongrie et d'autres encore. Mais presque partout on a reconnu que ces constructions ne répondent pas à l'attente, et que leur entretien est bien plus coûteux qu'on ne l'avait pensé. On trouve donc qu'il y a tout avantage à les remplacer, le plus rapidement possible, par des ouvrages définitifs.

Tout naturellement ce remplacement se fait de préférence par des tabliers métalliques. Presque toujours il serait impossible de construire à la place de l'ouvrage existant un autre en maçonnerie, à moins de déplacer momentanément la ligne, ce qui entraînerait des travaux provisoires trop considérables. Pour l'emploi de tabliers en fer, au contraire, il arrive fréquemment que les mêmes appuis en maçonnerie, piles et culées peuvent servir. De plus, le remplacement peut se faire très rapidement, sans interrompre, pour ainsi dire, le service de l'exploitation.

Un certain nombre de cas de ce genre se sont présentés depuis quelques années, et méritent d'être signalés à divers points de vue. Nous ne nous arrêterons qu'à ceux dont la description détaillée peut servir de renseignement utile.

I

Une ligne hongroise à grand trafic, le chemin de fer Kaschau-Oderberg, a été construite avec un grand nombre de ponts en bois. On a procédé, pendant les années 1874-75, au remplacement de ces ponts par des travées métalliques. On a suivi pour ces remplacements une marche uniforme. Les anciens ponts étaient tous du système Howe, c'est-à-dire à poutres avec croisillons en bois et avec tirants verticaux en fer.

Pour expliquer ce travail nous choisirons pour exemple l'un d'entre eux, à deux travées de 25 mètres d'ouverture chacune, le pont sur la Hernàd, en Hongrie (voir pl. VIII, fig. 1, 2). Ce pont était à poutres sous rails, dont le niveau inférieur se trouvait à 14 mètres au-dessus de la rivière. On commença par établir, à côté de l'ancien pont en bois, une plate-forme de montage, en charpente, à la hauteur voulue pour que le tablier pût se trouver à son niveau définitif, et à 6 mètres de distance horizontale de la position qu'il devait occuper ultérieurement. Ce montage fut fait en vingt jours. Pendant ce temps on établit dans chaque travée deux palées servant uniquement à porter un chemin de roulement et des treuils de manœuvre. Le chemin de roulement était formé de deux fortes pièces de bois portant une paire de rails, écartés de 340 millimètres d'axe en axe, et ayant une longueur totale de 17 mètres environ. Sur ces rails roulaient de petits chariots à 4 roues en fonte, de 270 millimètres de diamètre, et dont le bâti était en tôle et cornières. Ces chariots étaient destinés à porter d'abord l'ancienne charpente en bois, et ensuite la nouvelle, en fer.

On disposait d'un temps fort limité entre le passage de deux trains successifs. Les précautions furent cependant assez bien prises pour qu'aucun retard ne soit produit, ni par suite aucune irrégularité dans l'exploitation. Une fois le dernier train passé, on souleva le tablier en bois au moyen de vérins à vis, et l'on poussa sous les poutres les huit petits chariots signalés plus haut. Cette opération dura environ une heure. On fit fonctionner les treuils, et cinq minutes suffirent pour enlever et mettre à l'écart l'ancienne construction en bois. Il fallut alors poser quelques pierres de taille destinées à recevoir les appuis nouveaux, la hauteur des deux tabliers n'étant pas la même. Ce travail a encore pris une heure environ, puis on a amené en place le

tablier en fer en se servant des mêmes chariots qui avaient, dans l'intervalle, été enlevés de dessous les poutres en bois. Dans l'un et l'autre cas, quatre hommes viraient à chacun des quatre treuils, et cinq à six minutes suffisaient pour amener le tablier en place. Il fut rapidement descendu sur ses appuis au moyen des vérins, et la jonction des rails extrêmes se fit sans difficulté, le pont étant venu occuper exactement la place laissée par l'ancien. On procéda de suite aux épreuves de charge, les locomotives étant tenues prêtes à cet effet, et une heure plus tard les trains reprenaient leur service sur le nouveau pont. — L'interruption totale avait duré environ quatre heures.

Le poids de la partie métallique du pont est d'environ 68,500 kilog., ce qui, ajouté au poids de la voie et des bois du platelage, donne environ 90,000 kilog. comme poids à mouvoir.

Un deuxième pont, de même ouverture et de disposition entièrement semblable, a donné le même résultat.

D'autres fois, cependant, l'opération a été plus longue. Le pont de Lomna, de 31 mètres d'ouverture, pesant environ 70,000 kilog., a demandé onze heures pour son remplacement, principalement à cause du mauvais état dans lequel se trouvait la construction en bois.

Le chemin de fer Kaschau-Oderberg a remplacé par un même procédé, dans l'espace de vingt mois environ, vingt-huit ponts en bois, dont l'ouverture variait de 8 à 64 mètres. Ce travail a été exécuté avec un plein succès et sans le moindre accident.

II

Le chemin de fer du Nord-Ouest autrichien a exécuté un travail du même genre, mais beaucoup plus important. Cette ligne traverse le Danube dans le voisinage de la ville de Vienne. Le pont principal avait été construit en 1870-72. Mais à ce moment la régularisation du fleuve n'était pas faite, et l'on ne pouvait déterminer encore les dispositions à donner aux quais. Il fallut donc établir sur une longueur de 102 mètres un pont provisoire en bois sur pilotis, jusqu'au moment où la disposition définitive pouvait être arrêtée. Le grand pont ainsi que le pont provisoire étaient à une seule voie. On donna à la nouvelle travée remplaçant la partie en bois une ouverture de 79^{m},42, la portée d'axe en axe des appuis étant de 82^{m},17. Cette travée était ainsi semblable aux travées de la partie principale de l'ouvrage franchissant le fleuve.

Le poids de cette travée était de 263,314 kilog., et avec les rails, traverses et platelage, d'environ 300,000 kilog.

Ce poids parut assez considérable pour qu'on songeât d'abord à faire le montage du tablier pièce par pièce et à la place qu'il devait occuper définitivement. On aurait dû, en ce cas, démolir successivement toutes les parties du pont provisoire et y substituer, au cours du travail, un autre échafaudage pour le montage. C'était une double dépense inutile. Mais on était de plus conduit par ce système à monter et à faire la rivure sur un emplacement où le mouvement des trains est continuel, et le travail des grandes poutres notamment aurait exposé à un danger de presque tous les instants ceux qui y étaient employés.

On préféra donc, et avec raison, monter le tablier à côté de son emplacement définitif, se résolvant à abattre, dans un espace de temps très restreint, l'ancien pont en bois, et à faire au même moment le déplacement latéral du tablier nouveau muni de tous ses rails et bois, et n'ayant plus à faire que la jonction des voies, une fois qu'il serait parvenu à occuper sa position définitive.

A cet effet on établit à côté du pont provisoire (pl. VIII, fig. 4) une charpente de montage dont la plate-forme était à 80 centimètres sous la partie inférieure des poutres. Une plate-forme supérieure facilitait l'assemblage des membrures supérieures, et ce montage se fit dans les conditions ordinaires, avec rapidité.

Mais il fallait déplacer latéralement, de 6 mètres, le tablier une fois achevé. Au lieu de le soulever en plusieurs points de sa longueur, on préféra l'enlever aux deux bouts seulement, en des points immédiatement voisins des rotules d'appui. On fixa en ces points des coussinets en fonte, formés chacun de trois pièces et reposant sur les fusées de deux galets massifs. Ces fusées avaient 130 millimètres de diamètre, et les galets (voir fig. 5, 6) avaient 200 millimètres de diamètre. L'ensemble de ces deux galets doubles, formant deux rouleaux, reposait sur une paire de rails distants de 75 millimètres d'axe en axe. Ces rails étaient entretoisés tous les 500 millimètres par de forts boulons en acier qui les serraient contre des cales en fonte déterminant l'écartement. Les mêmes boulons servaient de butée aux appareils moteurs. Les rails reposaient sur le bord des maçonneries, à côté et en dedans des appuis définitifs.

L'avancement de l'ensemble était donné au moyen de vis dont la tête appuyait contre les coussinets en fonte. Ces vis étaient manœu-

vrées par des cliquets armés d'un long levier, sur lequel agissaient les hommes. L'écrou dans lequel tournait la vis était muni d'un crochet en dessous qui s'agrafait sous l'un des boulons entretoisant les rails, où il prenait par conséquent son point d'appui.

Les deux chariots situés sous les poutres principales, à une même extrémité du pont, étaient entretoisés par une barre de bois portant à chaque bout un petit vérin à vis.

La manière de produire le mouvement s'explique maintenant aisément. L'effort des hommes agissant sur le levier des cliquets faisait tourner les vis. L'écrou de ces organes étant fixe, c'est la vis qui progressait, poussant devant elle les chariots sur lesquels reposait la poutre.

Les dimensions de ces divers organes étaient telles qu'à chaque mouvement de haut en bas que faisaient les hommes (agissant comme s'ils manœuvraient une pompe d'incendie), le pont avançait de 1 millimètre. La vis avait un pas de 20 millimètres et une longueur utile de 1 mètre. Cette longueur parcourue, il fallait déplacer l'écrou et faire revenir en arrière la vis. Trois hommes devaient manœuver chaque levier, produisant à son extrémité un effort moyen de 45 kilog.

C'est au moyen de ces dispositions que l'on fit le déplacement le 13 septembre 1875. Le dernier train passa sur le pont en bois à 9h,40 du soir. Soixante-dix hommes attaquèrent la démolition du vieux pont, et trente hommes commençaient au même moment les opérations du déplacement du nouveau. A minuit 40 minutes, la démolition était suffisante pour ne plus offrir aucun obstacle à l'avancement du tablier métallique, et déjà à ce moment le tablier avait cheminé de 1 mètre depuis le commencement du travail. On put alors pousser plus activement le roulement jusqu'à ce que, vers 3 heures 40 minutes, l'un des appareils commença à fonctionner avec une telle résistance que les deux vis se faussèrent et qu'une de leurs extrémités se rompit. Il fallut se hâter de les démonter pour mettre en leur place deux appareils semblables que l'on avait heureusement préparés comme réserve. Mais la résistance ne diminua pas, et ce fut avec de très grands efforts seulement que l'on réussit à franchir les derniers 50 centimètres, résultat qui fut atteint à 6 heures.

Il restait à descendre le tablier de 20 millimètres, quantité dont on l'avait surélevé pendant le montage, et à raccorder les voies. A 7 heures 25, le premier train passa sur le nouveau pont.

On découvrit, après démontage des appareils, quelle avait été la cause de la résistance subite qui s'était produite lorsqu'on était déjà si près du but. C'étaient les galets qui avaient grippé dans leurs fusées d'une part, et qui avaient mordu sur les rails d'autre part. Le jeu qu'on avait laissé, le croyant très suffisant, ne l'avait pas été. Nous croyons aussi que le petit diamètre des galets a dû être fort peu favorable au roulement et a contribué au hachement qui s'est produit sur les rails, malgré que les uns et les autres fussent en acier. Sous ce rapport il semble que la disposition employée au pont de Hernád, cité plus haut, mérite certainement la préférence, et il ne paraît pas impossible, même sous des charges de 75 tonnes par appui, que l'on puisse constituer un chariot qui évite ces inconvénients.

Il est intéressant de noter le rapport entre la force motrice et le poids total nécessaire pour produire le mouvement de la masse. Ce rapport, calculé au préalable, est de 60 kilog. par tonne de poids à mouvoir. Pendant toute la première période du mouvement, ce résultat du calcul fut confirmé avec une grande précision. Mais lorsque le grippement se produisit, il fallut quadrupler l'effort moteur, qui monta par conséquent à 240 kilog. par tonne mise en mouvement. L'un et l'autre de ces chiffres ne tiennent pas compte des frottements absorbés par les vérins eux-mêmes.

Nous ne citerons qu'en passant un travail analogue, fait par le chemin du Nord de l'Autriche, au pont sur l'Oder, près Oderberg (en Silésie). Ce pont a douze travées d'environ 20 mètres chacune. On les a remplacées successivement toutes par des travées discontinues en treillis métallique. On se servit pour cela de grands galets de 45 centimètres de diamètre. On fit chaque opération en 42 minutes, et le temps total, en y comprenant celui nécessaire pour la jonction de la voie, était de 1 heure 20 minutes.

III

Plus récemment des remplacements de ce genre ont été faits avec succès sur le chemin de fer de l'État autrichien. En août 1878, cette Compagnie avait à remplacer le pont en bois sur la Waag, près Tornócz, par une structure métallique. Elle consistait en 6 travées de 31 mètres d'ouverture, qui devait être formée de 3 tabliers distincts

couvrant chacun 2 couvertures. Le montage de ces tabliers fut fait sur un échafaudage placé à l'aval du pont. Chaque tablier fut disposé de manière à reposer sur quatre appareils de roulement correspondant à des palées spéciales disposées entre les palées des anciennes constructions en bois. Il était fixé à des chaînes s'enroulant sur des treuils et qui tiraient dans ces mêmes plans.

L'appareil de roulement mérite une attention spéciale. Les galets étaient supprimés et remplacés par un système à boules, imaginé par M. Weickum, ingénieur de la Compagnie. En travers des semelles inférieures du pont était fixée une forte pièce de bois, de 26 × 26 centimètres. La face inférieure de cette poutre était armée d'un fer à double T couché horizontalement. Un deuxième fer semblable se trouvait au-dessous, et l'intervalle, entre les deux âmes de ces poutrelles, était garni d'une série de 30 boules. Celles-ci sont tout simplement de vieux boulets à canon hors d'usage, de 117 millimètres de diamètre. Elles sont maintenues à un écartement constant par une tôle découpée qui forme un logement pour chacune d'elles. Le fer à T inférieur repose sur deux rails, calés et fixés par des crampons, sur le chapeau longitudinal des palées de support. On voit aisément que le fer à T supérieur se déplace par le mouvement des boules, la translation se faisant sans autre frottement que celui des boulets dans leurs alvéoles, qui est fort minime, et le frottement de roulement des boules.

Le poids du tablier à mouvoir était de 65 tonnes environ. L'effort nécessaire était produit par 4 treuils à chacun desquels viraient deux hommes. Le déplacement proprement dit du pont s'opère ainsi, sur un chemin parcouru de 5m,40 en 11 minutes.

L'opération entière prit six heures de temps. Les premières trois heures furent occupées à démolir l'ancien pont en bois. Vint ensuite le déplacement du nouveau pont; il dut être relevé de 3 centimètres pour dégager les boules et appareils, puis descendu de 10 centimètres pour prendre place sur ses appuis définitifs. Enfin on fit la jonction des rails et les épreuves du tablier.

L'exemple le plus récent de tous est celui de la pose d'un pont à deux voies, de 60 mètres d'ouverture, qui a été faite le 3 janvier de cette année, sur la même ligne que le pont précédent. Il se trouve dans le rayon d'inondation du Danube, et à cette époque de l'année,

on conçut, par suite de l'accumulation des glaces et leur débâcle imminente, des craintes très sérieuses pour la sécurité des ponts provisoires ainsi que des échafaudages qui avaient servi au montage du pont nouveau. On se décida à hâter l'opération et à la faire de nuit avec des préparatifs à peine suffisants.

Une première opération de ce genre avait été faite pour amener le pont à moitié chemin, c'est-à-dire de façon que l'une de ses voies servît à la circulation, l'autre voie étant encore formée par la moitié du pont en bois préexistant. La deuxième moitié avait été démolie. Le tablier en fer, monté du côté de la voie supprimée, était supporté par 4 palées en bois sur lesquelles se faisait le roulement. On introduisit par un premier roulement le tablier à la place de la partie enlevée, et on établit la circulation provisoirement sur cette voie. On pouvait à ce moment enlever la deuxième voie restée sur le pont en bois et faire le dernier roulement pour arriver à la position définitive, en disjoignant simplement les rails et en refermant les voies une fois le pont en place.

C'est ce dernier travail qui a été très rapidement et heureusement accompli dans la nuit du 3 janvier 1880.

Le pont pesait 350 tonnes, et son déplacement devait être de $5^{m},50$. Il reposait sur 4 palées au moyen d'un appareil représenté (pl. VIII, fig. 10)[1]. 4 rails transversaux au pont sont placés debout, tandis qu'entre chaque paire se trouve un autre rail renversé. Le patin de celui-ci sert d'appui à l'âme d'un fer à double T qui forme rainure pour le roulement des boules. Celles-ci sont emboîtées dans les trous d'une bande de tôle percée *ad hoc* et guidées au moyen de petites cornières rivées sur le bord. Sur ces boules roule un fer à U, lequel, comme le fer inférieur, est doublé d'un fer plat horizontal. Il porte une forte pièce de bois taillée en coin sur sa longueur, et à laquelle se superpose une seconde taillée de même. Ces deux pièces de bois, réunies par des crampons, forment donc en quelque sorte clavette et contre-clavette permettant, par l'enlèvement de la pièce supérieure, de descendre le tablier. La disposition était telle que les poutres extérieures reposaient en chaque point d'appui sur une seule de ces fourrures en bois, sur une seule série de boules par conséquent, tandis

1. Les figures 7 à 10 représentent l'ensemble et des détails du pont, mais dans l'état où il était avant le premier roulement; celui-ci se fit dans d'aussi bonnes conditions que le second, mais avec moins de rapidité, attendu qu'il se faisait presque à titre d'essai.

que la poutre centrale, la plus lourde, se trouvait supportée par deux rangées de boules à la fois.

Le mouvement était donné à l'ensemble par des treuils placés sur le pont lui-même, et au nombre de 3. Ils tiraient chacun sur la corde d'un palan, qui était amarré d'abord à la construction en bois existante et ensuite à une palée placée en avant. 4 hommes viraient à chaque treuil, et, par ce moyen, le pont fut déplacé des $5^m,50$ à franchir dans l'espace de 20 minutes. Autres 25 minutes suffirent pour descendre le pont sur ses appuis définitifs et pour rétablir la circulation sur la première voie, qui avait été interrompue.

Ces résultats de l'emploi du système à boules sont certainement fort remarquables. Il assure une facilité de manœuvre considérable en répartissant la charge sur un grand nombre de points. Ces avantages sont considérables quand il s'agit de manœuvrer à la fois de très pesantes masses, et il nous paraît certain qu'on appliquera souvent avec avantage un appareil formé d'éléments aussi simples et aussi peu sujets à se détériorer. Convenablement disposé, il peut servir au lançage en long des ponts métalliques aussi bien qu'à ces manœuvres en travers, et évitera certains inconvénients inhérents aux systèmes de galets fixes d'un plus ou moins grand diamètre.

DESCRIPTION

DE

DEUX LACS DE LA RÉGION DU CAUCASE

RICHES EN SULFATE DE SOUDE

PAR M. CHARLES GAUTHIER.

Il n'y a qu'un petit nombre d'années que l'exploration des provinces du Caucase est devenue chose relativement facile. Autrefois, il n'était pas aisé de pénétrer dans la montagne, où les chefs circassiens réservaient aux étrangers un accueil qui n'était rien moins que satisfaisant.

La condition sociale du pays est aujourd'hui entièrement modifiée. L'autorité du gouvernement russe n'est plus discutée et toute crainte de guerre civile a disparu.

L'administration russe a établi des routes plus ou moins bonnes qui relient entre elles les villes principales, et un chemin de fer existe au pied même du Caucase. Il part de Rostov sur Don, traverse les steppes de la mer d'Azov et aboutit à Vladikavkas, situé sur le Terek, à l'entrée de la célèbre gorge du Darial, qui monte au col de Kasbek.

Ce chemin est destiné à être prolongé, non pas sur Tiflis, au moins pour le moment, mais sur Petrowk et Bakou, ports de la Caspienne. Le forcement de la grande chaîne paraît, en effet, autrement difficile que celui de Modane, et les résultats seraient loin d'avoir la même importance.

Appelé en Russie à plusieurs reprises pour y étudier la question des soudes, j'ai visité en dernier lieu deux lacs situés dans la région du Caucase et contenant en dissolution une très forte proportion de sulfate de soude.

Ces lacs sont situés à 12 kilomètres à l'est de Batalpachinsk sur un plateau peu élevé près de la montagne Sytchevaia. Batalpachinsk, ville de 4000 âmes, chef-lieu de district dans le gouvernement du Kouban, est à 50 kilomètres au sud de Novinominsk. Cette dernière ville, station du chemin de fer de Rostov à Vladikavkas, est à 366 kilomètres de Rostov et se trouve ainsi reliée au reste de l'Europe par chemin de fer.

A partir de Novinominsk, on se rend à Batalpachinsk par la route de poste.

Les lacs ne se trouvent qu'à 25 kilomètres de la station de Barsouky qui suit celle de Novinominsk, mais il n'y a pas là de relais de poste ; le chemin est d'ailleurs aussi praticable pour les chariots de transport que celui qui part de Novinominsk.

Ces lacs se trouvent situés au milieu de terrains riches, mais peu cultivés. La population du pays se livre surtout à l'élevage du bétail et un peu à la production des céréales. La couche d'humus est assez profonde pour donner de magnifiques récoltes sans addition d'aucun engrais.

Le pays est un peu accidenté. Les collines et petites montagnes qui entourent Batalpachinsk sont les premiers contreforts de la chaîne du Caucase dont on voit se dessiner à l'horizon les pics élevés, notamment l'Elbrous, d'une altitude de 5,800 mètres, à environ 150 kilomètres des lacs.

On ne voit pas de bois et la terre ne produit guère que les fourrages qui poussent naturellement. L'absence de capitaux et le manque d'initiative ont empêché jusqu'ici de tirer parti de ces riches contrées. Il faut ajouter que les populations ignorent presque complètement ce qu'est la vie civilisée et paraissent peu désireuses d'améliorer leur sort.

Le Kouban passe à côté de Batalpachinsk, à l'ouest. C'est une rivière torrentueuse à pente très rapide, qui court de l'est à l'ouest et se jette dans l'Azov. On ne peut en tirer aucun parti pour les transports, si ce n'est peut-être en se rapprochant de la mer.

Le pays est peu peuplé. Cependant, dans un rayon de 50 kilomètres autour des lacs, on trouve les villages suivants, dont je vais indiquer la population, pour montrer les ressources en main-d'œuvre qu'elle peut fournir à toute industrie qui s'établira dans le pays :

Stanitza	Batalpachinsk	1000 feux.
»	Souvarofskaia	380 »
»	Voroskolefskaia	460 »
»	Beketskaia	500 »
»	Djigoutinskaia	250 »
»	Novinominsk	600 »
»	Belemtchet	400 »
»	Nicolaiefskaia	40 »

A ces chiffres, il faut ajouter les riverains du Zelemtchouk, affluent du Kouban, qui peuvent être évalués à 15,000.

La population du district de Batalpachinsk est de 47,000 habitants. Cette population est très clairsemée, la superficie du district étant à peu de chose près, celle de la Belgique.

Il faut ajouter que chaque famille possède plusieurs attelages de chevaux ou de bœufs, avec des chariots, ce qui la met en mesure de se livrer à l'industrie des transports.

On voit donc qu'il y a des éléments suffisants en main-d'œuvre et en moyens de transport pour satisfaire aux besoins d'une industrie même considérable.

La population est paisible, malgré son apparence belliqueuse. Elle a conservé le costume circassien, et le port continuel des sabres et poignards est un usage traditionnel dans ces contrées.

Les familles ne peuvent être comptées en moyenne pour plus de quatre individus. La population n'augmente pas. Cela paraît tenir à des épidémies fréquentes d'angine diphthérique qui sévissent sur les enfants.

Le manque d'hygiène et l'absence de soins pourraient aussi expliquer l'état stationnaire de la population.

Voici quelques prix de main-d'œuvre et de matériaux.

Le prix de la journée d'un maçon ou charpentier est de 1 rouble 50 kopecks [1] (3f,90).

Le prix de la journée d'un manœuvre est de 80 kopecks (2f,10).

Un cheval de travail vaut 100 francs ; un bœuf a la même valeur. Le prix d'un chariot est de 200 francs. Les chariots sont légers et on les

1. L'unité monétaire est le rouble en or, qui vaut 4 francs. L'or ayant à peu près disparu de Russie a été remplacé par le papier-monnaie. Le prix du rouble papier est variable : il vaut actuellement 2f,60. Un rouble contient 100 kopecks.

charge peu. Leur charge est de 30 à 40 pouds[1]. On trouve transporteur à raison de 5 kopecks le poud (0f,80 les 100 kilogrammes) à 30 kilomètres, et de 7 kopecks le poud (1f,10 les 100 kilogrammes) à 60 kilomètres.

Les constructions du pays sont assez grossièrement faites. La plupart des maisons sont en bois et terre glaise avec des toits de chaume. Une maison ainsi construite, assez grande pour loger une famille, vaut de 300 à 400 roubles. Il y a cependant quelques maisons bâties en pierre et couvertes en tôle. Elles appartiennent généralement aux agents du gouvernement ou aux négociants de Batalpachinsk. Ces maisons n'ont qu'un étage. Élevées sur caves, ayant 7 sagènes[2] de longueur, sur 4 de largeur elles valent environ 6,000 roubles.

On trouve dans le pays les principaux matériaux de construction. Il faut cependant aller chercher le bois à une certaine distance dans la montagne.

La chaux vaut 25 kopecks le poud rendue sur place (4f,50 les 100 kilogrammes). Le sable vaut 5 kopecks les 40 pouds, charge d'un chariot, également rendu (1f,95 les 100 kilogrammes).

Quant au bois, une pièce de sapin de 9 archines de long (6m,39) se vend à raison de 1 rouble par verschkoff de diamètre (0f,60 par centimètre). Les planches se scient à façon à raison de 25 kopecks le trait de scie de 9 archines de long (0f,65 les 6 mètres).

On trouve de la terre réfractaire en quantité considérable à une distance d'environ 30 kilomètres de Batalpachinsk. Cette terre est d'assez bonne qualité pour qu'on vienne en chercher de Tiflis.

La nourriture est à très bon marché. Pour en donner une idée, la viande se vend à raison de 6 kopecks la livre russe (0f,40 le kilogramme). Un poulet vaut 25 centimes, une oie 1 franc. Le gibier est pour ainsi dire sans valeur.

Les gisements de métaux et de minéraux sont très abondants. Les chaînes du Caucase et celles de la Crimée, qui n'en sont que le prolongement, sont d'un âge relativement récent, de sorte que leurs roches sédimentaires n'appartiennent pas aux formations antérieures à la période jurassique. La région du Caucase offre de nombreux gisements de fer et de cuivre, de cobalt, de galène argentifère et de manganèse.

1. Le poud vaut 40 livres russes, soit 16k,372.

2. La sagène vaut 2m,13. Une sagène contient trois archines et une archine seize verschkoffs.

On y trouve aussi de la houille appartenant à la période jurassique, du sel gemme et du soufre natif. La présence de ces deux substances peut faire supposer qu'à une certaine époque géologique, des réactions ont dû se produire pour donner naissance à des amas considérables de sulfate de soude.

Dans la contrée relativement peu étendue que j'ai visitée sur le versant septentrional de la chaîne, j'ai pu constater l'existence de plusieurs couches de houille. Ces couches sont horizontales et d'une assez faible épaisseur. Elles sont exploitées sur une petite échelle pour les besoins locaux. J'ai reconnu en plusieurs endroits des affleurements de galène qu'il serait facile d'exploiter.

J'ai aussi reconnu, sur un glacier, à environ 130 kilomètres de Batalpachinsk, au pied de l'Elbrous et près des sources du Kouban, des pierres calcaires qui renferment une proportion considérable de soufre. Ces pierres se sont détachées de la montagne et forment en partie les moraines du glacier. La neige et le brouillard m'ont empêché de pénétrer plus avant et de reconnaître le gisement. Mais il doit être facile de le trouver par un beau temps, et on peut sans doute l'exploiter à certaines époques de l'année. Toutefois, le bas prix du soufre en ce moment et les difficultés des transports ne permettraient pas sans doute d'en tirer un parti fructueux.

Les lacs qui devaient faire l'objet principal de mon examen sont situés à 1 kilomètre de distance l'un de l'autre. Le plus petit a 1200 mètres de diamètre. Il est à peu près rond. Le grand est ovale avec 5 kilomètres de longueur sur 2 et demi de largeur.

J'ai observé ces lacs pendant une partie du mois d'août de l'année dernière. Le grand était plein d'eau ; le petit était désséché sur les trois quarts de son étendue environ. Le fond de ces lacs est argileux et recouvert par endroits d'une couche de boue de 0,50 à 0,70 d'épaisseur. Cette boue, par suite de l'effleurissement du sel qu'elle renferme, blanchit à la surface en séchant. Aussi le petit lac, dans les parties découvertes, avait-il l'aspect d'un terrain couvert de neige. Dans les parties où l'eau était restée, elle avait une profondeur variant de quelques centimètres à environ $0^m,70$, et il y avait au fond une couche cristallisée de 2 à 3 centimètres d'épaisseur à laquelle les gens du pays donnent le nom de *kriga* qui veut dire couche de glace.

Quant au grand lac, la formation du kriga y commençait seulement. Le fond était en effet couvert de longs cristaux ayant la forme

caractéristique des cristaux de sulfate de soude et disposés comme les mailles d'un filet. Ces cristaux étaient séparés les uns des autres par un espace de 3 à 4 centimètres.

C'est généralement vers le mois de septembre que les cristaux commencent à se déposer. Il se forme à la surface de l'eau une sorte de neige et il se dépose au fond une couche de kriga dont l'épaisseur, faible d'abord, augmente par suite de l'abaissement de la température vers 0°, et peut aller jusqu'à 13 centimètres. Cette couche persiste jusqu'aux pluies de l'été, époque où elle disparaît. La couche de neige superficielle est constituée par les cristaux les plus légers qui surnagent, s'effleurissent et sont poussés sur les bords sous l'influence et dans la direction des vents.

J'ai recueilli de l'eau et des cristaux déposés au fond, et voici les résultats qu'ont donnés les analyses faites à Paris.

Analyse des eaux.

Un litre d'eau de ces lacs contient :

Sulfate de soude cristallisé.	293gr,28
Sel marin..	48gr,34
Sulfate de magnésie..	11gr,35
	352gr,97

Ou bien :

Sulfate de soude anhydre.	129gr,05
Sel marin..	48gr,34
Sulfate de magnésie. . . . . ,	11gr,35
	188gr,74

Analyse des cristaux déposés.

Pour 100 de cristaux déposés, on trouve :

Sulfate de soude cristallisé.	96gr,74
Chlorure de sodium..	1gr,49
Sulfate de magnésie..	0gr,87
» de chaux.	0gr,02
Eau hygroscopique.	0gr,88
	100gr,00

Par la dessiccation, les cristaux de sulfate de soude perdent

56 pour 100 de leur poids, et la composition du sel anhydre est alors :

Sulfate de soude anhydre.	94,70
Sels divers.	5,30
	100,00

De ces analyses, on peut retenir deux chiffres intéressants ; l'eau des lacs contient environ 13 pour 100 de sulfate anhydre, et le kriga ou sel déposé en renferme, après dessiccation, près de 95 pour 100.

Ces eaux sont donc très riches en sulfate de soude, et ce sel est d'une pureté qui permet de l'employer sans préparation dans les opérations industrielles auxquelles il peut servir de base.

Quant à la quantité de sel, elle est extrêmement abondante, et de nature à satisfaire pendant de longues années les besoins d'une grande industrie.

Les habitants du pays recueillent des quantités considérables de ce sulfate de soude et le donnent à leurs bestiaux. On évalue la quantité ainsi consommée annuellement à 5 millions de kilogrammes. J'ai constaté moi-même, la présence sur les bords des lacs, de nombreux chariots venus de distances très éloignées, en vue de recueillir le sel, et que plusieurs hommes étaient en train de charger.

Ce chiffre de 5000 tonnes consommé par le bétail paraît considérable à première vue. C'est une évaluation qui m'a été fournie sur place par plusieurs personnes du pays et je n'ai pu la contrôler qu'en partie. Ce qui est hors de doute, c'est qu'on vient récolter ce sel de contrées fort éloignées, et que le bétail est extrêmement nombreux dans toute la région dont il est pour ainsi dire la seule richesse. Ces deux motifs expliquent cette consommation considérable.

J'ajouterai que l'analyse donnée précédemment est celle des cristaux qui se déposent les premiers. Si l'évaporation des eaux était complète, le résidu serait beaucoup plus riche en sel marin. Sa composition centésimale serait en effet, d'après les chiffres indiqués plus haut :

Sulfate de soude anhydre.	68gr,37
Sel marin..	25gr,62
Sulfate de magnésie.	6gr,01
	100gr,00

Cette évaporation totale se produit au moment des sécheresses de l'été dans certaines parties des lacs, et les paysans recherchent de préférence pour leurs bestiaux, ces dépôts plus ou moins riches en sel marin.

Il serait difficile d'expliquer d'une façon précise la formation de ces lacs. Comme aucun cours d'eau n'y aboutit, leur régime variable indiquerait qu'ils sont alimentés par des sources venant d'une certaine profondeur et plus ou moins chargées de sulfate, suivant l'abondance des pluies. Il faudrait supposer l'existence d'une couche aquifère en contact avec une roche sulfatée telle que la glaubérite ou la thénardite. L'eau de cette couche, en contact avec la glaubérite, se chargerait plus ou moins de sulfate de soude, et la couche, affleurant le fond des lacs, les alimenterait au moyen de sources diverses.

J'ai vu des gisements considérables de glaubérite en Espagne, dans le bassin de l'Ebre et près de Ciempozuelos sur la ligne de Madrid à Séville. Ces gisements n'ont été exploités jusqu'ici que sur une très petite échelle et exclusivement pour répondre à des besoins locaux. J'y ai recueilli des échantillons que j'ai fait dissoudre dans l'eau. L'analyse de cette eau a donné un résultat presque identique à celui de l'analyse des eaux des lacs de Batalpachinsk. Il n'y aurait donc rien d'étonnant à ce qu'une formation analogue à celles d'Espagne ait eu lieu au Caucase. La présence de nombreux gisements de sel gemme corrobore cette hypothèse. J'ajouterai qu'il est de tradition dans le pays que cette couche sulfatée existe à une certaine profondeur.

Les paysans qui se livrent aujourd'hui à la récolte du sulfate, le recueillent de la façon suivante. Ils entrent dans le lac en tirant derrière eux un petit bateau de 1 mètre de long sur $0^m,50$ de large et $0^m,15$ de creux. Ils cassent la couche de kriga au fond et la retirent par morceaux de $0^m,20$ à $0^m,30$ de long et autant de large. Ils chargent ces morceaux dans leur bateau. Un homme peut ainsi recueillir facilement 60 pouds, soit 1000 kilogrammes de kriga dans sa journée, ce qui met le prix de revient de l'extraction à un chiffre très modique.

Le sel ainsi recueilli est très pur, comme le montrent les analyses. Pour l'avoir anhydre, il faut lui enlever 56 pour 100 d'eau. Cette déshydratation peut se faire par évaporation et calcination, ou mieux par précipitation du sulfate anhydre.

L'extraction du sel des eaux des lacs pourrait d'ailleurs se faire en

toute saison et très facilement par voie d'évaporation naturelle dans des étangs gradués, convenablement agencés sur des terrains contigus aux lacs.

A la température de 25° centigrades, l'air évapore 0k,400 d'eau par mètre carré de surface et par heure, de sorte qu'une superficie de 2 hectares 1/2 de terrain converti en étangs gradués suffirait pour produire, pendant quatre mois, une quantité de 22,000 tonnes de sulfate de soude hydraté, à 10 équivalents d'eau, par l'évaporation naturelle des eaux saturées à 13 pour 100 de sulfate.

C'est par cristallisations successives qu'il y aurait lieu de procéder, de façon à reproduire le phénomène naturel qui se produit dans le lac. Le sulfate de soude se dépose seul, presque tous les sels étrangers restant en dissolution dans les eaux mères.

Ces 22,000 tonnes de sulfate hydraté donneront par la déshydratation 10,000 tonnes de sulfate anhydre.

Cette déshydratation n'est pas sans présenter quelques difficultés. Il existe cependant plusieurs procédés que le cadre de ce Mémoire ne permet pas de décrire. Lorsque le combustible est à bon marché, ce qui est le cas, la calcination peut s'opérer dans des fours à réverbère à sole en tôle ou en fonte. On peut également arriver à la déshydratation par une exposition à l'air libre, au vent et au soleil. Mais ce procédé est difficile à mettre en pratique pour une quantité de sulfate considérable comme celle qui nous occupe.

Ce qui paraît le plus simple est de précipiter le sulfate à l'état anhydre de sa dissolution dans son eau de cristallisation. Cette précipitation se produit naturellement en maintenant le sel au-dessus de sa température de fusion ; ou bien on peut la provoquer immédiatement et plus complète par une addition de sel marin.

Ce sulfate de soude naturel peut être utilisé sous diverses formes : la Russie est, au point de vue de la production de la soude, dans des conditions toutes particulières.

Tout le monde connaît l'importance commerciale de la soude et la place qu'elle occupe dans l'industrie chimique sous ses diverses formes, sulfate, carbonate ou caustique. Elle est indispensable à la verrerie (vitres, bouteilles, gobeletteries), à la teinture, au dégraissage des laines, au lessivage des tissus, aussi bien que des chiffons et des pailles pour les papeteries, à la savonnerie, à l'épuration des suifs et des huiles basses, etc., etc.

A l'égal de la houille, on a dit d'elle, qu'elle était le pain de l'industrie chimique.

Toutefois, malgré les besoins pressants de son industrie, la Russie ne possède pas encore de fabriques de soude, et reste à cet égard tributaire de l'étranger et notamment de l'Angleterre. Les derniers renseignements fournis par les douanes révèlent, pour l'année 1878, une importation de 50,000 tonnes de soude, et la comparaison avec les années antérieures montre cette importation croissant sans relâche.

Jusqu'ici, la potasse provenant des cendres de bois avait tenu pour une large part la place de la soude, mais elle ne peut pas partout en tenir lieu, et l'on sait que le déboisement fait des progrès effrayants en Russie, et qu'à la suite du gaspillage des temps passés, le bois, précisément dans les régions industrielles, se fait rare et très cher.

Aussi le gouvernement attache-t-il la plus grande importance à la création de l'industrie soudière indigène; on en trouve la preuve dans ce double fait, qu'il la protège par des droits de douane fort élevés et qu'il exonère de tout impôt et la soude et la fabrication de la soude, en abandonnant le droit d'accise de 60 francs par tonne que paie d'ordinaire le sel marin.

Ainsi protégée contre la concurrence étrangère par des droits de douane élevés et par les grandes distances de transport, comment l'industrie soudière ne s'est-elle pas encore développée en Russie?

Pour répondre à cette question, il suffit d'entrer dans quelques détails sur cette fabrication. La soude s'obtient par deux procédés différents, l'ancien procédé *Leblanc* ou les nouveaux procédés à *l'ammoniaque* (Solvay, Schlœsing, etc.).

Dans les deux systèmes, la base des opérations est toujours le sel marin.

Dans l'ancienne fabrication Leblanc, on transforme le sel en sulfate de soude par l'acide sulfurique, puis le sulfate en carbonate par une calcination au contact du calcaire et du charbon. Ce procédé, très sûr d'application et de résultat, comporte une première fabrication préalable *d'acide sulfurique* avec ses approvisionnements de soufre natif ou de pyrites, son coûteux matériel de chambres de plomb, ce qui constitue une première usine importante, puis une seconde installation presque aussi coûteuse, pour la production du sulfate, avant de passer à la troisième usine qui fabrique et livre la *soude calcinée.*

En Russie, il fallait demander le soufre ou les pyrites à l'étranger

ou bien l'acide sulfurique ; l'achat de ces matières et les prix des transports auraient absorbé d'abord presque tous les bénéfices ; la création compliquée de trois usines importantes a fait reculer les industriels.

Les nouveaux procédés à l'ammoniaque (Schlœsing, Solvay ou autres) transforment directement le sel marin en bicarbonate de soude par l'action simultanée de l'acide carbonique et de l'ammoniaque ; ce dernier produit n'est pas fabriqué couramment en Russie ; il faut encore le demander à l'étranger ; de plus, ces derniers procédés sont délicats ; essayés sur deux points par quelques industriels, ils ont donné des mécomptes qui ont découragé de nouvelles tentatives.

Telles sont les raisons qui ont empêché jusqu'ici le développement de l'industrie soudière en Russie.

Le procédé Leblanc, qui donne des résultats excellents, reste d'une pratique simple et sûre à la condition qu'on le débarrasse de l'énorme complication de la double fabrication de l'acide sulfurique et du sulfate de soude ; l'idéal serait de trouver ce sulfate de soude pur, tout fabriqué ou formé et à bon marché.

C'est précisément ce *desideratum* que peut satisfaire l'exploitation du produit naturel emprunté aux lacs que je viens de décrire.

En supprimant d'un seul coup les frais d'établissement des deux usines avec leurs annexes et les frais de traitement préalable, en livrant un produit aussi pur que celui de la fabrication à un prix bien inférieur, même transporté très loin, l'exploitation des lacs est destinée à constituer un monopole défiant toute concurrence. Il faut ajouter que les matières premières nécessaires à la fabrication de la soude, c'est-à-dire la craie et le charbon se trouvent en abondance dans le voisinage des lacs.

Une grande partie du sulfate de soude naturel pourra être livrée aux verreries, nombreuses en Russie. D'autre part, on le transformera en carbonate de soude, en cristaux de soude ou même en soude caustique, suivant les besoins du commerce.

Les débouchés ouverts à tous ces produits sont considérables.

Les lacs sont situés à 366 kilomètres de Rostov par le chemin de fer ; de Rostov, on peut rayonner sur les bassins du Don et du Volga ; vers le sud, les produits pourront gagner Tiflis et Bakou ou Soukoum-Kalé par des chemins de fer exécutés ou projetés.

Le chemin de fer va aujourd'hui jusqu'à Vladikavkas et sera d'ici

peu prolongé jusqu'à Bakou. Dès à présent une route relie Vladikavkas à Tiflis, et un chemin de fer, qui relierait directement la ligne Rostov-Vladikavkas à la mer Noire vers Soukoum-Kalé, est à l'étude.

Les lacs étant situés à peu près au centre de ce réseau, la consommation s'étendra immédiatement dans un rayon de 4 à 500 kilomètres aux villes de Tiflis, Stavropol, Vladikavkas, Rostov et autres centres industriels.

D'un autre côté, la moyenne des prix de vente dans la région qui s'étend de Rostov jusqu'à Moscou, permettra d'expédier le sulfate même jusqu'à 15 et 1600 kilomètres de son point d'origine, les transports par chemin de fer se faisant en Russie à des prix peu élevés.

Ce Mémoire n'étant destiné qu'à donner un aperçu des richesses naturelles de pays encore peu connus, je n'ai pas cru devoir aborder les questions techniques que soulève une installation de l'importance de celle dont il s'agit. Je n'ai pas cru non plus devoir indiquer de prix de revient, bien qu'ayant les éléments nécessaires pour les établir. Tout le monde comprendra la réserve qui m'est imposée à cet égard.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU

MOIS D'AOUT 1880

Séance du 6 Août 1880.

PRÉSIDENCE DE M. GOTTSCHALK.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 16 juillet est adopté.

M. LE PRÉSIDENT fait part du décès de M. Henri Fraenkel, ingénieur en chef de la banque de Belgique.

Il annonce ensuite les nominations de MM. Chaize, Guillaume, Hersent, Lartigue, Levi-Alvarès, Mangini, Noblot et Tesse comme chevaliers de la Légion d'honneur.

De MM. Cahen (Albert) et Hallopeau comme officiers d'Académie.

De M. Adolphe Violet, comme officier de l'ordre de Nicham Iftikar.

De M. Hacquart, comme chevalier de 1re classe de l'ordre d'Albert.

De M. Cottard, comme membre du Conseil général de l'Indre.

L'ordre du jour appelle le compte rendu, par M. Mallet, du Mémoire de M. Colladon, sur les inconvénients du tunnel étudié sous le mont Blanc et de ses lignes d'accès, et aux avantages du tracé par le Simplon.

M. MALLET s'exprime ainsi :

Notre éminent collègue, M. Daniel Colladon, a bien voulu me charger de vous rendre compte d'un travail qu'il vient de publier, pour soutenir les

avantages d'un chemin de fer international par le Simplon et mettre en regard les inconvénients et les difficultés du tracé récemment proposé par le mont Blanc.

Ce n'est pas la première fois que la question du Simplon vient devant la Société; celle-ci n'a pas oublié les interessantes communications faites dans les séances des 24 avril et 3 mai 1878, par notre collègue M. William Huber et par M. Lommel, directeur technique de la Compagnie du Simplon. Ces Messieurs insistaient vivement sur l'influence fâcheuse que devait avoir à bref délai, sur le commerce direct et le commerce de transit de la France, l'ouverture de la ligne du Saint-Gothard, et sur l'intérêt de premier ordre qu'avait ce pays à s'opposer à ce que ce double trafic ne fût confisqué à ses provinces de l'Est et du Nord, au profit de la nouvelle ligne. Ce danger devient de plus en plus menaçant, puisque depuis deux ans la situation s'est complètement modifiée pour le Gothard; la Compagnie qui était en désarroi est réorganisée, les subventions votées, le percement est opéré et tandis que les travaux d'achèvement du tunnel se poursuivent avec une activité qui permet de fixer au mois de mai prochain l'époque de sa livraison, les abords qui, lors de la communication cidessus, ne devaient pas être commencés de longtemps, sont, au contraire, attaqués de toutes parts, et les travaux conduits avec une extrême rapidité; on peut prévoir dès à présent l'achèvement total et prochain de la ligne.

MM. Lommel et Huber présentaient le tracé par le Simplon comme le seul pouvant donner une protection efficace aux intérêts commerciaux de la France et de la Suisse occidentale.

Je demande la permission de rappeller brièvement les avantages particuliers du tracé par le Simplon.

Cette ligne présente la plus courte distance de Paris à Milan, si on tient compte des longueurs virtuelles, c'est-à-dire si on compare les longueurs rectilignes et horizontales qui équivaudraient aux lignes telles qu'elles doivent être exécutées avec leurs rampes et leurs courbes. Ainsi les distances virtuelles sont : par le mont Cenis 1095 kilomètres, par le Saint-Gothard 1070 et par le Simplon 942. Ces distances ont été calculées par notre collègue M. Vauthier, ancien ingénieur en chef de la première Compagnie de la ligne d'Italie par la vallée du Rhône et le Simplon.

Le tracé par le Simplon est, en effet, dans des conditions toutes spéciales et particulièrement avantageuses; les rampes d'accès du côté du Rhône ont un maximum de 11 millièmes sur 3 kilomètres seulement, et celles du versant italien 23,7 millièmes sur 17 kilomètres environ, alors que le Gothard présente des déclivités de 17,25 et 26,7 millièmes sur près de 90 kilomètres.

Le tunnel a sa tête Nord à l'altitude de 711 mètres, son point culminant à 729 et sa tête Sud à 687 mètres au-dessus du niveau de la mer; les points culminants pour les autres lignes qui traversent les Alpes, sont à 1152 mètres pour le Saint-Gothard, 1338 pour le mont Cenis et 1366 pour le Brenner. La faible altitude du point de faîte est un avantage sur lequel

il n'est pas nécessaire d'insister; il suffira de rappeler, avec M. Huber, que la cote la plus élevée du tunnel du Simplon reste de 50 mètres au-dessous du point culminant de la ligne de Lausanne, Fribourg, Berne, et que l'ensemble de la ligne internationale présenterait la singularité que son point haut serait, si on passe par Jougne, dans le Jura, dont le climat est bien plus clément que celui des Hautes-Alpes, et qu'on resterait constamment en plaine, si on prend la voie de Bellegarde, Collonges, Annemasse et le Chablais.

Enfin, les travaux d'accès du Simplon sont, à l'heure qu'il est, bien plus avancés que ne le sont encore ceux du Saint-Gothard ; le chemin est en exploitation sur le versant Nord jusqu'à l'entrée même du tunnel sauf un raccordement de faible longueur; au Sud, une partie des terrassements sont déjà faits entre Gozzano et Domo d'Ossola et le gouvernement italien s'est engagé à compléter à ses frais, avant l'achèvement du tunnel, la jonction par voie ferrée entre le portail Sud du tunnel et les têtes de lignes actuelles.

On peut ajouter que le tunnel lui-même sera en alignement droit de 18,507 mètres de longueur avec des déclivités maxima de 4,5 pour mille ; l'étude géologique faite avec le plus grand soin a fait reconnaître l'existence de schistes lustres et calcaires, de micaschistes, schistes amphiboliques et gneiss schisteux, et de gneiss granitiques.

Il n'y a là rien qui présente des difficultés spéciales à la perforation mécanique et la facilité des accès est un avantage qu'on ne saurait trop apprécier.

M. Lommel établissait comme suit le devis de l'achèvement du Simplon.

Tunnel à 4,000 francs le mètre.	74,000,000 fr.
Voie, rails, ballast, etc.	1,300,000
Travaux d'accès du côté Nord.	675,000
Travaux d'accès du côté Sud, Isella à Domo d'Ossola, à faire par le gouvernement italien.	15,325,000
Achèvement du tronçon Gozzano, Domo d'Ossola, à faire également par le gouvernement italien.	12,000,000
Travaux d'installation à la gare internationale de Brigue.	4,500,000
Soit un total de.	107,800,000

Si on défalque ce qui doit être dépensé par l'Italie, soit 27 à 28 millions, il reste un nombre rond de 80 millions à fournir par les États, cantons et communes situés au Nord de la chaîne des Alpes et par les capitaux privés. Il est intéressant de rappeler que le coût total de l'achèvement du Simplon est à peu près la somme à laquelle se montent les erreurs seules du devis du Saint-Gothard.

A ce propos, il est indispensable d'expliquer que les études de M. Lommel ont été exécutées sur des relevés faits au millième, dans le but d'éviter les mécomptes éprouvés au Gothard.

On sait qué, le premier Ingénieur en chef de cette ligne, M. Gerwig, ayant cru pouvoir baser ses devis sur des études faites au dix-millième, la Compagnie s'est trouvée en face d'une erreur de plus de 100 millions ; elle a dû suspendre les travaux. M. Hellwag, successeur de M. Gerwig, a dû réétudier les deux vallées à une échelle dix fois plus grande, et le résultat de ses études l'a conduit à abandonner entièrement le tracé de son prédécesseur.

Préoccupés à juste titre de cette situation menaçante, quelques personnes ont cru trouver dans un tracé par los vallées de l'Arve et de la Doire une grande ligne pouvant rivaliser avantageusement avec le chemin de fer du Gothard. Cette ligne se détacherait de la ligne de Collonges, Annemasse et suivrait la vallée de l'Arve par Bonneville, Sallanches et Chamonix, passerait sous le mont Blanc par un tunnel qui pourrait avoir 18 à 19 kilomètres, puis suivrait la vallée de la Doire par Pré-Saint-Didier et Aoste, et rejoindrait, à Ivrée, les chemins de fer italiens.

M. Colladon ne partage pas la manière de voir des promoteurs de ce projet, et il s'est attaché à mettre en lumière les inconvénients très sérieux que présente ce tracé et l'immense supériorité de la ligne du Simplon. Je vais résumer ses objections.

La plupart des grandes vallées près les chaînes centrales des Alpes, dit M. Colladon, présentent des successions de terrasses ou ressauts, correspondant à des roches très dures qui forment barrage ou à un étranglement de la vallée (on peut dire tout de suite que, par une exception à peu près unique, la vallée du Rhône ne présente pas de ressaut, ce qui a permis de faire reposer la ligne ferrée du Simplon dans toute sa longueur sur le sol de la vallée). Or ces terrasses ou ressauts nécessiteraient des pentes inadmissibles avec les moyens ordinaires, si on voulait s'astreindre à suivre le profil du fond de la vallée.

Il n'y a, si l'on reste dans la limite des inclinaisons compatibles avec l'adhérence naturelle, que deux systèmes qui permettent de surmonter cette difficulté ; l'un, le plus ancien, paraît le plus simple à première vue, surtout pour un tracé fait à petite échelle, mais c'est de beaucoup le plus coûteux, le plus dangereux, le plus incommode pour les populations locales, le plus long à bien établir dans de bonnes conditions d'exécution, celui qui, par la suite, exigera les plus grands frais d'entretien.

Il consiste à choisir sur la voie un point assez éloigné de la terrasse pour qu'en menant une ligne droite de ce point au sommet du ressaut, l'inclinaison de cette ligne ne dépasse pas la rampe qu'on s'est donnée pour limite. On construit alors la voie parallèlement à cette ligne, ce qui oblige à abandonner le fond de la vallée et à s'élever contre les parois latérales, quelquefois à de très grandes hauteurs. S'il y a des vallées secondaires, des moraines, rochers de mauvaise nature, il faut faire de longs circuits,

ou établir des ouvrages d'art coûteux; dans les parties mouvantes, on est obligé de faire des contreforts gigantesques pour aller chercher un appui solide au fond de la vallée.

C'est le système proposé par M. Gerwig, pour le Saint-Gothard, système qui avait conduit au déficit de 100 millions.

C'est aussi le système proposé par les honorables promoteurs du tracé par le mont Blanc.

Le second système est moins séduisant, assez coûteux mais plus sûr; il consiste à suivre le fond de la vallée jusqu'au pied du ressaut et à racheter la hauteur de la terrasse par un ou deux tunnels en hélice, à la sortie desquels on se retrouve au niveau de la vallée supérieure que l'on continue à suivre, pour recommencer de même si on rencontre une seconde terrasse.

C'est ainsi que s'exécute en ce moment la ligne d'accès dans la vallée du Tessin avec quatre tunnels en hélice, deux à Giornico et deux à Faido. Dans la vallée de la Reuss, on franchit de même le ressaut de Wasen par deux longs tunnels en hélice. Ce système a amené au Gothard une économie d'une année sur la durée et de 15 à 20 millions sur le coût de l'exécution, économie qu'on doit accepter comme réelle puisqu'elle résulte de marchés à forfait passés avec les entrepreneurs.

M. Colladon fait observer ici que ce système peut être adopté sans doute pour le tracé par le mont Blanc, mais qu'alors il faudra recourir à une étude sérieuse à une échelle relativement grande et à des devis détaillés, et qu'on ne pourra plus se contenter de représenter les voies d'accès des vallées de l'Arve et de la Doire par des lignes droites, et supposer *à priori* des prix de construction de 300 et 400 mille francs par kilomètre; dès lors les avantages de la ligne, pour ainsi dire de plaine du Simplon, apparaîtront d'une manière incontestable.

M. Colladon rappelle les difficultés que la présence d'une terrasse de cent mètres de hauteur à Modane a apportées à l'exécution de la ligne du mont Cenis, et la peine qu'on a depuis sept ou huit ans à maintenir l'extrémité Nord en courbe du grand tunnel du Fréjus, à tel point que, comme remède héroïque, on refait une autre sortie par un tunnel de trois kilomètres se raccordant avec l'ancien tunnel et avec une nouvelle jonction de la voie descendante modifiée.

M. Colladon pense qu'une voie qui, sur la moitié de sa longueur, longerait des moraines et des terrains d'éboulis peu cohérents, ce qui arriverait dans la vallée de la Doire, si on en juge par les indications fournies par le savant géologue italien Baretti, au lieu de coûter 300 à 400 mille francs, ne saurait être établie à moins de 800,000 francs par kilomètre.

Quant au tunnel sous le mont Blanc, les difficultés ne seraient pas moindres.

Ce tunnel serait, d'après les avant-projets, divisé en deux parties, un tunnel sous la montagne proprement dite, de 13,640 mètres, et un tunnel sous vallée de 5,300 mètres qu'on espère pouvoir attaquer avec des puits.

Les terrains où ces puits devraient être percés offrent une grande analogie avec les terrains de la plaine d'Andermatt au Gothard, où le tunnel traverse des schistes alumineux, mélangés de gypse en décomposition qui absorbent l'humidité de l'air, s'effritent et se gonflent en exerçant des poussées énormes sur les maçonneries; ces puits, dont la profondeur pourrait atteindre 300 mètres, coûteraient donc des prix extrêmement élevés, si même ils pouvaient être achevés et maintenus.

En outre, la nature du terrain opposerait, à l'exécution du tunnel lui-même, des difficultés du même ordre que celles contre lesquelles on lutte encore à l'heure qu'il est au Gothard et probablement sur une bien plus grande longueur.

Il y a enfin une illusion qu'il faut abandonner.

On suppose généralement qu'avec les roches très dures, les revêtements sont inutiles; or, le tunnel du Fréjus a dû être revêtu tout entier de maçonnerie, et il en sera de même au Gothard.

M. Colladon compare, au point de vue des longueurs virtuelles, les deux lignes Collonges, mont Blanc, Milan et Collonges, Simplon, Milan.

Voici ces longueurs comparées :

Simplon.		Mont Blanc.	
Partie française. . .	91 kilom.	Partie française. . .	114 kilom.
Partie suisse.	124 —		
Partie italienne. . .	160 —	Partie italienne. . .	229 —
Total.	375 —	Total.	363 —
Majoration.	24,36	Majoration.	65,88
Tunnel.	18,51	Tunnel.	18,94
Longueur virtuelle. .	417,87	Longueur virtuelle. .	447,82

La différence est de 30 kilomètres ou 7 pour 100 environ, mais elle serait plus considérable si on tenait compte de la majoration sur la ligne Aoste-Ivrée qu'on a négligée dans le calcul.

Enfin, on doit faire remarquer que, dans les longueurs qui ont été énumérées, il ne reste à exécuter par le Simplon en dehors du grand tunnel que 375 — 289 = 86 kilomètres, tandis que par le mont Blanc il reste à faire 363 — 187 = 174 également en dehors du grand tunnel, c'est-à-dire le double.

On a supposé, dans tout ce qui précède, que la liaison du Simplon avec le réseau français s'opère par Collonges et le Chablais, mais si on admet la jonction par Pontarlier, la supériorité du Simplon devient écrasante. Ainsi, pour n'en citer qu'un exemple, la ligne Calais-Dijon-Pontarlier-Lausanne-Simplon-Milan donne un raccourci de plus de 140 kilomètres sur la ligne Calais-Dijon-Collonges-Mont-Blanc-Milan.

On doit donc considérer la voie du Simplon comme réunissant toutes les conditions, savoir :

Position intermédiaire centrale entre la ligne du mont Cenis et la ligne du Gothard;

Communications directes et variées avec la France, la Belgique et l'Angleterre d'un côté, l'Italie et l'Orient de l'autre; enfin et surtout un tunnel avec le tracé le plus bas de la chaîne entière des Alpes, et des lignes d'accès incomparablement supérieures à celles de toutes les autres lignes rivales.

Les honorables promoteurs du tracé par le mont Blanc ont cru pouvoir baser la préférence à donner à ce projet sur des considérations politiques et militaires, auxquelles M. Colladon répond dans la dernière partie de son Mémoire.

Vous me permettrez de ne le suivre que de très loin sur ce terrain, et je me bornerai à indiquer sommairement la position de la question.

Le tracé par le mont Blanc fait communiquer directement et sans intermédiaire la France et l'Italie, comme le fait la ligne du mont Cenis, tandis que le Simplon emprunte sur une partie de sa longueur le territoire suisse dont la neutralité peut, en temps de guerre, interrompre les communications. Voilà l'objection.

A cela on peut répondre d'abord, que le cas est absolument le même au Gothard pour les communications entre l'Allemagne et l'Italie et que puisqu'il s'agit précisément de faire concurrence au Gothard, il n'y a pas là de cause d'infériorité; car, comme l'a fort bien fait remarquer M. Lommel, le but que la France doit se proposer, n'est pas d'ouvrir un tunnel alpin *quelconque* ayant une tête sur le territoire français, mais de disposer d'une artère commerciale, *qui ait sa raison d'être,* qui soit autre chose qu'une doublure du mont Cenis, et qui, en débouchant directement sur Milan, soit capable de donner de nouveaux champs de trafic à la France et de protéger, contre la concurrence du Gothard, le courant commercial actuellement acquis à notre pays.

Mais en outre, l'objection est plus spécieuse que solide, car il ne faut pas oublier que le Chablais, le Faucigny et tout le territoire jusqu'au Rhône en passant par Ugine et le lac du Bourget forment, d'après les conventions internationales de 1815, une zone neutre qui ne peut être occupée militairement par aucun belligérant et dont la garde, en cas de guerre, a été confiée à la Suisse.

Le traité de réunion de la Savoie à la France, en 1860, n'a pas modifié cet état de choses, puisqu'il est formellement dit dans ce traité, qu'il est entendu que le roi de Sardaigne ne peut transférer les parties neutralisées de la Savoie qu'aux conditions auxquelles il les possède lui-même; on voit donc qu'au point de vue militaire, la situation du mont Blanc et du Simplon est exactement la même, et qu'il n'y a pas lieu de s'arrêter plus longtemps sur cet ordre d'idées.

En terminant cet exposé, il est un point sur lequel je dois insister. Si M. Colladon a tenu à ce qu'il vous soit rendu compte de ce travail, c'est non seulement parce qu'il connaît l'intérêt que porte la Société aux grandes

questions des communications à travers les Alpes, mais aussi parce qu'il désirait la faire en quelque sorte juge de la position pénible qui lui a été faite dans ce débat. Dans des discussions qui ont pris parfois une tournure très vive, ses contradicteurs se proclamant des patriotes qui combattaient pour les intérêts commerciaux, industriels et stratégiques de la France et se plaçant sur un terrain dont vous avez pu voir que la solidité n'était que superficielle et apparente, ont cru pouvoir représenter notre éminent Collègue comme n'étant qu'un ingénieur suisse sans aucun titre pour s'occuper de la question, un étranger suspect, en quelque sorte, comme plus ou moins intéressé à l'exécution du Simplon. Or M. Colladon tient à ce qu'on sache que ni la France ni l'Italie ne sont des pays étrangers pour lui, il a dirigé dans l'un et l'autre de grandes entreprises industrielles ; on connaît la part qu'il a eue dès l'origine à l'enseignement de l'École centrale et celle qu'il a prise au percement du premier grand tunnel sous les Alpes, est-il besoin de rappeler les titres éclatants qu'il s'est acquis comme ingénieur et comme savant; l'ignorance seule de ces titres pourrait faire excuser des attaques aussi injustes que passionnées?

Ajoutons que notre Société peut s'honorer de le compter depuis vingt-cinq ans au nombre de ses Membres.

Si M. Colladon s'est fait un devoir d'intervenir dans cette question, c'est parce que, selon lui, tout ingénieur qui aime son métier et qui est exactement renseigné sur des questions d'art nouvelles et difficiles, a le droit d'indiquer les difficultés et de comparer les projets pour mettre en relief les mieux appropriés au but, alors que des études superficielles peuvent entraîner le pays dans des résolutions déplorables pour ses finances.

Le Simplon seul peut fournir à la France, pour son commerce, une voie pouvant lutter avec le Saint-Gothard.

Par le Simplon, le but serait atteint complètement et prochainement, au moyen d'une dépense qui ne dépasserait pas 50 millions pour la part afférente à la France.

Par le mont Blanc, ligne moins directe, mais beaucoup plus difficile, beaucoup moins avancée, et dont le tunnel exigerait une surélevation de 350 mètres au minimum, les subventions indispensables pour les lignes d'accès et l'exécution d'un tunnel s'éleveraient très probablement, pour la France, à une somme de 140 à 150 millions, et cela pour l'unique avantage dont on a vu l'inanité d'avoir un tunnel s'ouvrant sur le territoire français.

Il me reste à m'excuser de la longueur de cette analyse. Vous me pardonnerez, certainement, en faveur de l'intérêt du sujet et de la manière si compétente avec laquelle il a été traité par M. Colladon.

M. Thomasset demande la permission de présenter quelques observations sur la question qui vient de vous être soumise, et sur l'analyse qu'a faite notre collègue, M. Mallet, de la brochure de M. Colladon. Je n'ai pas, je crois, à rendre hommage au mérite de M. Colladon : ses travaux sont là pour l'attester; mais, je suis bien sûr que tout le premier il n'a pas la prétention de rendre un jugement sans appel sur une question aussi grave.

Tout le monde est d'accord sur la recherche d'une voie qui, pouvant rivaliser avec celle du Saint-Gothard, donne un trafic plus important à l'est et au nord de la France, et devienne, si possible, la ligne la plus courte entre Londres et Brindisi.

A priori, et en dehors de toute question politique, il est bien certain que, si on peut trouver une telle ligne ne traversant que le territoire français et le territoire italien, comme, financièrement, c'est à ces deux pays que l'on fait appel, chacun d'eux aimera mieux dépenser son argent chez lui : ce qui est arrivé sous ce rapport à la ligne du Simplon doit l'engager à la prudence. Cela dit, je vais suivre les divers points présentés dans l'analyse de M. Mallet.

Il est dit que la ligne du Simplon présente la plus courte distance de Paris à Milan, en tenant compte des longueurs virtuelles : je ne le crois pas, et voici les chiffres que j'oppose à ceux fournis dans l'analyse à ce sujet :

Distances virtuelles de Paris à Milan :

Par le mont Cenis.	1,051	kilomètres.
Par le Saint-Gothard	1,025	—
Par le Simplon.	959	—
Par le mont Blanc.	927	—

Si, au lieu de prendre Paris et Milan comme terminus de comparaison, on prend Calais et Plaisance qui donnent bien mieux une grande artère commerciale susceptible d'amener à son profit un grand trafic, nous avons le tableau suivant :

Distances virtuelles de Calais à Plaisance :

Par le mont Cenis	1,398	kilomètres.
Par le Saint-Gothard..	1,293	—
Par le Simplon	1,326	—
Par le mont Blanc.	1,269	—

L'étude de la voie par le mont Blanc a été établie tout d'abord en 1875-76, une vérification a été faite en 1879, et enfin on achève en ce moment les travaux du projet à grande échelle que paraît réclamer avec instance M. Colladon. Je suis en mesure d'assurer en ce moment, d'après ces dernières études, que la ligne d'accès française peut être construite avec des rampes de 12,5 au maximum.

Donc, soit la distance virtuelle, soit la déclivité des rampes d'accès, tout est en faveur du mont Blanc.

D'après les études faites par la Compagnie du Simplon et dont j'ai tout le détail, j'arrive à un total de 84 kilomètres en déclivités supérieures à 15, et même plus de la moitié de cette distance a une déclivité supérieure à 20, sur deux points différents : accès au souterrain et traversée du Jura.

Les lignes d'accès au mont Blanc donnent 31 kilomètres en déclivités

supérieures à 15 par Nantua : rien par Culoz-Ambérieu. L'étude de la carte fait facilement reconnaître que ces deux avantages sont dus : 1° à l'épaisseur relativement faible de la muraille rocheuse du mont Blanc; 2° au développement considérable des vallées latérales.

La longueur du tunnel sous le Simplon présente un obstacle assez sérieux : la question de ventilation a été très imparfaitement résolue au Saint-Gothard à partir du septième kilomètre : et l'ingénieur du tunnel du Saint-Gothard est très peu encourageant sous ce rapport.

Après le résumé des observations faites au Gothard, il les applique à la percée du Simplon, et il en vient à conclure à l'impossibilité d'exécution du tunnel bas avec les moyens de ventilation que nous possédons aujourd'hui. La longueur du tunnel va influer d'une manière considérable et sur le devis et sur le temps d'achèvement.

Au devis de M. Lommel que reproduit M. Mallet, je compare le suivant qui ressort des documents que j'ai entre les mains :

Prix de la ligne Bouveret-Brieg	7,000,000 fr.
Double voie sur cette ligne.	3,980,000
Gare et accès au tunnel à Brieg	5,335,000
Tunnel de 18,507 mètres.	80,000,000
Section Domo-Iselle..	16,485,000
Section Gravellona-Arona.	17,400,000
Total	130,200,000 fr.

Pour le mont Blanc, je recueille les chiffres suivants :

Tunnel.	64,000,000 fr.
Aoste au tunnel.	12,000,000
Section Ivrée-Santhia.	3,900,000
Total.	79,900,000 fr.

Je fais remarquer que la somme à dépenser par l'Italie, qui est à consulter dans la question, est de beaucoup plus faible dans le tracé du mont Blanc; de plus la ligne dessert par le mont Blanc la vallée d'Aoste, pays très riche et très industrieux : aussi ne faut-il pas s'étonner de voir la ligne du mont Blanc accueillie très favorablement en Italie. La somme à dépenser par la France est également moindre.

M. Colladon arrive maintenant au tunnel du mont Blanc, et l'argument le plus sérieux invoqué contre la ligne du mont Blanc consiste à démontrer, que l'étude géologique des terrains traversés par les lignes d'accès prouve que ces lignes seront presque impossibles à construire, et, en tout cas, donneront lieu à des mécomptes qui pourront aller fort loin. J'ai déjà répondu en ce qui concerne les mécomptes dus à des études faites à petite échelle : en parlant des déclivités des lignes d'accès, j'ai donné la suite des opérations faites ou en cours d'exécution. Mais où M. Colladon lui-même

donne gain de cause aux lignes d'accès du mont Blanc, c'est quand, prenant pour exemple la ligne du mont Cenis, il ne cite qu'un *seul* point l'extrémité nord du tunnel, ayant donné lieu à des ennuis. Or, pour qui connaît la ligne et la situation des terrains ainsi que leur composition, c'est entre Saint-Jean et Suze qu'il faut considérer cette ligne, qui ne présente qu'une longue suite de tunnels, de ponts, murs de soutènement, digues, etc.; et dans toute cette suite de travaux, il y a pu avoir de petits accidents locaux, mais aucun mécompte sérieux.

Les lignes d'accès du mont Blanc ne donneront pas lieu à d'aussi grandes difficultés; sur le versant français, cela est absolument certain; sur le versant italien, M. Colladon s'autorise du savant géologue italien Barretti. Ce dernier a cru nécessaire de publier une réfutation de laquelle il ressort que les déductions de M. Colladon sont très exagérées.

En tout cas, les conditions du mont Cenis et du mont Blanc ne sont point du tout les mêmes au point de vue géologique, et la situation géologique du mont Blanc meilleure que le mont Cenis, le Gothard et le Simplon, permet au moins de conclure que, s'il doit y avoir des mécomptes dans le percement de grands tunnels, le mont Blanc est celui qui en donnera le moins.

Pour tout ce qui se rapporte à la difficulté du tunnel sous le mont Blanc, la meilleure réfutation est celle qu'a faite le géologue Barretti en réponse à M. Colladon.

Il reste donc ici à l'actif du mont Blanc une dépense bien moindre que pour le Simplon.

Le délai d'exécution ne vient pas plaider la cause du Simplon : en effet, quelle que soit la situation des lignes d'accès, c'est le tunnel attaqué par deux chantiers seulement qui sera le travail le plus long : les lignes d'accès pourront toutes se faire pendant ce temps : or, la longueur de ce tunnel est pour le Simplon de 18,500; pour le mont Blanc de 13,500, soit une différence de 5,000 mètres. Si, le Simplon demande dix ans, comme on le dit, en prenant la même base, ce qui est un maximum pour le mont Blanc, ce dernier devra être percé en sept années.

Pour ce qui est donné comme longueurs virtuelles entre la ligne du Simplon et la ligne du mont Blanc, je ne reproduis pas les chiffres que j'ai donnés déjà, et qui démontrent que l'avantage de la plus courte distance reste au mont Blanc ;

La ligne du mont Blanc se présente donc avec les avantages suivants :

1° Elle donne la plus courte distance, soit entre Paris-Milan, soit entre Calais-Plaisance;

2° Les déclivités des lignes d'accès ne seront, en aucun cas, supérieures à 15;

3° La longueur du tunnel restant entre celle du mont Cenis et celle du Saint-Gothard ne donne lieu à aucune crainte pour son exécution ;

4° Le devis de la dépense est tellement inférieur à celui du Simplon que cette raison seule devrait être déterminante;

5° La ligne du mont Blanc ne traverse que deux territoires, la France et l'Italie : ce qui est très avantageux au point de vue de la situation financière de la ligne, de l'exploitation et de la circulation, soit des marchandises, soit des voyageurs.

6° Enfin le délai d'exécution sera bien plus court pour le mont Blanc que pour le Simplon.

J'arrive à la dernière partie du Mémoire de M. Colladon, et pour remettre les choses en leur place, je dirai que ce sont les partisans du Simplon qui ont fait intervenir la question de neutralité de territoire dans la question.

Que les promoteurs du tracé du mont Blanc fassent valoir à la suite de tous les avantages signalés des considérations politiques, M. Colladon, je l'espère, ne peut le leur reprocher. Quel que soit le tracé choisi, la question politique interviendra et elle aura sa part d'influence, mais nous n'avons pas à nous en occuper ici.

Je dirai seulement deux mots de la question de neutralité qui est citée par M. Colladon. Notre éminent Collègue nous dit que le roi de Sardaigne n'a pu transférer les parties neutralisées de la Savoie qu'aux conditions auxquelles il les possédait lui-même. Soit : mais alors, il est formellement stipulé que les troupes stationnées dans le territoire neutralisé pourront se retirer par le Valais et le Simplon en cas d'hostilités des nations voisines. Que devient cette clause expresse du traité ?

Ce qui est vrai, ce qui ressort des documents et traités passés, c'est que cette neutralisation a été demandée par le roi de Sardaigne pour se protéger contre la France, que la Suisse a acquis cette faculté à titre onéreux, puisqu'on lui a cédé des territoires à condition qu'elle accepte cette neutralité; qu'enfin la France ne peut pas conserver une clause dirigée contre elle : si le contraire est maintenu par la Suisse, on arrive à l'absurde. Tous les faits passés sont d'accord avec cette interprétation qui est du reste la seule possible, sans quoi on tombe dans l'absurde. On conçoit facilement que les partisans du Simplon tiennent à cette neutralité qui, en n'existant pas, laisserait l'avantage à la ligne du mont Blanc. La question est donc importante, et, pour ma part, après avoir lu tous les traités, documents, et interprétations possibles, la question n'est pas douteuse, la ligne du mont Blanc n'a pas un de ses points en pays neutre.

M. Colladon désirerait que notre Société fût, en quelque sorte, juge de la position pénible qui lui a été faite dans ce débat : je ne sais pas si je dois suivre M. Colladon sur ce point; cependant pour rendre hommage à la vérité, je dois dire que dans tous les documents que j'ai entre les mains, aucune parole ne peut être relevée comme pouvant blesser un sentiment quelconque chez notre Collègue; la contradiction est nette, la question est importante, rien de plus naturel que de la voir apparaître à notre Société qui peut la discuter utilement. J'ai apporté dans cette réponse faite à l'improviste, le résumé succinct des documents parus à cet égard, je me permettrai de tenir notre Société au courant de la question, à mesure que

des incidents nouveaux se produiront ou que des renseignements utiles pourront être communiqués.

M. Mallet désire tout d'abord constater que, s'étant simplement chargé de présenter à la Société un résumé du travail de M. Colladon, il avait le droit de se dérober à une discussion à laquelle il ne s'attendait pas, et cela d'autant mieux qu'il sait que MM. Colladon et Lommel ont l'intention de ramener dans quelque temps la question devant la Société ; néanmoins il ne veut pas laisser passer, sans quelques mots de réplique immédiate, les observations qui viennent d'être faites.

M. Thomasset, dans la réponse qu'il a, dit-il, dû improviser, a cité beaucoup de chiffres et fait usage de nombreux documents, mais en somme il n'a guère fait que reproduire les arguments favoris des partisans du mont Blanc, arguments tirés des brochures de M. le sénateur Chardon, et qui ont été déjà réfutés pour la plupart dans la seconde brochure de M. Colladon, brochure déposée comme la première au siège de la Société.

M. Mallet ne portera pas la discussion sur le terrain des chiffres, ce serait sans aucun intérêt ; cependant il lui paraît nécessaire d'expliquer comment, alors que MM. Colladon et Lommel trouvent que la distance virtuelle entre Paris et Milan est plus courte par le Simplon que par le mont Blanc, M. Thomasset, prenant la distance entre Calais et Plaisance, arrive à un résultat diamétralement opposé.

Cela tient à ce que les honorables promoteurs du tracé par le mont Blanc substituent en Italie, aux lignes existantes entre Ivrée et Plaisance un tracé à vol d'oiseau qui abrège en effet notablement la distance. Mais il n'est jusqu'ici nullement question d'exécuter cette ligne idéale et cela d'autant moins que ce tracé laisserait Turin absolument de côté.

De même en France, au lieu de suivre tout simplement la ligne de Lyon, ces Messieurs, pour obtenir à toute force un raccourci sur le Simplon, se jettent en dehors des grandes lignes pour adopter des tracés plus courts sans se préoccuper beaucoup du profil en long ; ils n'hésitent même pas à emprunter des réseaux d'intérêt local, par exemple la ligne de Bourg, Nantua, Bellegarde. C'est grâce à ces moyens qu'ils parviennent à trouver, sur la distance de Calais à Plaisance, une différence de 57 kilomètres ou 4 1/2 pour cent en faveur du mont Blanc sur le Simplon, mais sans indiquer pour ce dernier quelles sont les directions d'accès. Il suffit de citer cette manière d'opérer pour en faire apprécier la valeur.

Il n'est pas plus aisé de discuter sur les chiffres des devis. M. Thomasset ne se contente pas d'admettre pour le mont Blanc, les données les plus favorables, ce qui est son droit, mais il fait table rase des devis présentés officiellement par la Compagnie du Simplon et dressés par son directeur technique, M. Lommel, il leur substitue des chiffres empruntés, dit-il, à des documents qu'il a entre les mains, mais dont il ne cite pas la source ; toute discussion est impossible dans ces conditions.

Cependant, M. Mallet ne peut s'empêcher de signaler la manière dont M. Thomasset arrive à trouver un chiffre de 130,200,000 francs pour le

Simplon et de 79,900,000 pour le mont Blanc; pour le premier son honorable contradicteur compte impitoyablement le prix de la ligne en exploitation actuellement dans la vallée du Rhône, le prix de la double voie sur cette ligne, la gare internationale de Brigue; mais, dans le second, il oublie tout simplement, d'une part, la ligne d'accès au tunnel du côté français, 81 kilomètres, ligne qui présente des difficultés assez sérieuses pour que M. Colladon ne l'estime pas à moins de 800,000 francs le kilomètre; d'autre part, la ligne d'Aoste à Ivrée non moins difficile, de 65 kilomètres, total 146 kilomètres, et il ne fait aucnne mention d'une gare internationale analogue à celle de Modane ou de Brigue dont la dernière vient d'être toutefois comptée par lui pour le Simplon.

On se demande quelle peut être la portée d'une comparaison de ce genre.

Pour le tunnel, le grand argument de M. Thomasset est qu'il n'aura que 13,640 mètres de longueur, tandis que celui du Simplon aura 18,500 mètres; mais il ne dit pas un mot du tunnel sous vallée de 5,300 mètres auquel M. Chardon attache cependant une certaine importance, puisqu'il s'étend complaisamment sur les facilités que donnerait à ce percement l'attaque par puits, facilités que M. Colladon a réduites à leur juste valeur.

M. Mallet a appris avec d'autant plus de plaisir qu'on achève les études à grande échelle des lignes d'accès du mont Blanc, que, s'il a été bien informé, ces études n'ont dû être commencées que depuis peu; c'est un travail considérable. Les études à grande échelle du Simplon ont demandé deux années, un personnel de quinze à vingt opérateurs et de quarante aides et une dépense de 150,000 francs[1].

M. Mallet ne reviendra pas sur le côté politique de la question; il y a là une interprétation de traités qui n'est pas du domaine de la Société; il n'avait eu pour but que d'indiquer quelle était la position de la question; il croit cependant pouvoir rappeler que MM. Huber et Lommel avaient, dans leurs communications de 1878, donné cet argument qui n'avait alors soulevé aucune observation.

Le Simplon et le Saint-Gothard empruntent tous les deux le territoire suisse, mais pour toute personne non prévenue, le premier est un tracé *français* et le second un tracé *allemand.* Le meilleur argument en faveur du Simplon a été donné par un partisan du mont Blanc, qui certainement ne se doutait pas de la portée des expressions qu'il employait. Si on reproche au mont Blanc d'être la doublure du mont Cenis, ne peut-on pas, avec raison, dire que le Simplon n'est aussi que la doublure du Saint-Gothard? Assurément, et puisqu'il s'agit précisément de faire concurrence au Gothard, on ne saurait faire un plus bel éloge du tracé par le Simplon.

M. Mallet veut bien croire que les documents que M. Thomasset a entre

1. Voir les Mémoires et Comptes rendus de la Société des Ingénieurs civils, 1878, pages 574 et suivantes. Dans la séance du 3 mai 1878, M. Tresca, président, dit que l'étude du projet qui vient d'être présenté par M. Lommel, est un modèle à recommander aux jeunes ingénieurs qui auront à s'occuper de semblables travaux.

les mains ne contiennent pas un mot qui puisse blesser un sentiment quelconque chez M. Colladon, mais il n'en est pas moins obligé de maintenir que de plusieurs côtés, sous l'empire d'un sentiment de patriotisme mal compris, des critiques injustes et passionnées ont été dirigées contre notre éminent Collègue et que son travail n'a pas toujours été apprécié avec l'impartialité désirable[1].

M. Mallet bornera là ses observations; la question, comme il l'a déjà dit, sera reprise prochainement et il désire bien vivement, pour sa part, qu'on puisse avoir à cette époque les études à grande échelle du mont Blanc dont a parlé M. Thomasset, et qui seules permettraient de juger en connaissance de cause de la valeur de ce tracé.

M. le Président remercie M. Mallet d'avoir bien voulu résumer l'important travail de M. Colladon; il n'a pas besoin de faire ressortir l'intérêt qui s'attache à la question des grandes voies ferrées à travers les Alpes, et il est certain que la Société entendra toujours avec empressement des communications sur ce sujet.

La parole est donnée à M. Ch. Gauthier pour la communication sur les lacs de la région du Caucase riches en sulfate de soude.

M. Ch. Gauthier s'exprime comme suit :

J'ai fait l'année dernière un voyage d'exploration dans le Caucase, et ma mission a porté principalement sur l'examen de deux lacs d'une assez grande étendue, qui présentent une particularité curieuse; l'eau qu'ils contiennent est une eau minérale très riche en sulfate de soude et en assez grande abondance pour pouvoir trouver un emploi industriel. Ces lacs sont situés au pied du versant septentrional de la chaîne du Caucase et sont d'un accès relativement facile. On peut en effet se rendre par chemin de fer jusque dans leur voisinage. Quant aux dangers que court le voyageur, ils sont nuls aujourd'hui. Le pays est entièrement pacifié depuis plusieurs années; l'autorité du gouvernement russe n'est plus discutée et toute crainte de guerre civile a disparu.

L'administration russe a établi des routes plus ou moins bonnes qui relient entre elles les villes principales, et une ligne de chemin de fer qui part de Rostov-sur-Don, se dirige de l'ouest à l'est à travers les steppes de la mer d'Azof presque parallèlement à la chaîne du Caucase. Cette ligne s'arrête aujourd'hui à Vladikawkas, ville importante située sur le Terek, à

1. En voici un exemple : Avant que le présent procès-verbal ne fût composé et même rédigé, un journal rendait compte de la séance du 6 août dans les termes suivants : M. Mallet expose un compte rendu très bien résumé de la brochure de M. Colladon sur le percement du Simplon. M. Thomasset réplique fort habilement à M. Mallet ou plutôt à M. Colladon et réfute un à un tous les arguments de l'ouvrage du professeur génevois. Il ressort clairement de la discussion pour tout esprit non prévenu, que le traité de M. Colladon est une œuvre intéressée et partiale et que les intérêts techniques et patriotiques français sont dirigés tout entiers du côté du mont Blanc.

l'entrée de la célèbre gorge du Darial, mais doit être prolongée ultérieurement jusqu'à la Caspienne. C'est à une station de cette ligne appelée Novi-uominsk que l'on s'arrête après un voyage de 6 jours quand on est parti de Paris. On ne se trouve plus alors qu'à environ 50 kilomètres de Batalpachinsk, ville de 4.000 âmes, située à côté des lacs.

Ceux-ci ont une étendue superficielle de environ 12 kilomètres carrés. Leur profondeur est faible; sur les bords elle n'est que de quelques centimètres et va graduellement en augmentant; elle peut atteindre dans le milieu des lacs 1 à 2 mètres d'après les dires des gens du pays.

Les eaux soumises à l'analyse ont donné les résultats suivants :

Sulfate de soude anhydre	68,37
Sel marin	25,62
Sulfate de magnésie	6,01
	100,00

Quant au degré de saturation de l'eau, il est variable suivant les saisons et suivant l'abondance des pluies. Au milieu de l'été et jusqu'à la fin de l'hiver, la dissolution est assez saturée pour qu'il se forme au fond des lacs un dépôt de cristaux abondant. Le sel qui se dépose le premier est du sulfate de soude presque pur. Voici en effet les résultats de l'analyse des cristaux déposés dans l'intérieur des lacs.

Sulfate de soude cristallisé	96,74
Chlorure de sodium	1,49
Sulfate de magnésie	0,87
Sulfate de chaux	0,02
Eau hygroscopique	0,88

Dans certaines parties des lacs, sur les bords principalement, l'évaporation des eaux est complète, de sorte qu'on obtient des cristaux très riches en sel marin. Les gens du pays font une consommation considérable de ces cristaux qu'ils donnent à leurs bestiaux. On vient même en chercher de contrées assez éloignées. Cette consommation est évaluée à environ 5 millions de kilogrammes.

Les cristaux qui se déposent au fond des lacs ont une épaisseur variable suivant les saisons depuis quelques millimètres jusqu'à 12 ou 13 centimètres.

Malgré la quantité considérable enlevée chaque année pour être donnée aux bestiaux, et cela depuis des temps qui paraissent fort reculés, les eaux des lacs sont toujours aussi riches en sulfate de soude. On est donc amené à penser qu'ils s'alimentent à une source souterraine intarissable d'eaux minérales de même composition que l'eau de la surface.

L'étude géologique même très superficielle des environs confirme cette hypothèse. On trouve en effet à divers endroits des dépôts de sel gemme, à d'autres du soufre natif en abondance. Il a donc pu se produire à une époque ancienne des réactions qui ont donné naissance à des amas considérables de sulfate de soude, probablement sous forme de glaubérite.

Les eaux souterraines en contact avec cette roche composée presque

par parties égales de sulfate de chaux et de sulfate de soude, dissolvent le sulfate de soude et donnent naissance aux sources minérales qui alimentent les lacs en question.

Jusqu'ici ces lacs n'ont donné lieu à aucune exploitation industrielle, bien que la quantité de sulfate de soude qu'ils renferment soit assez considérable pour alimenter pendant de longues années une industrie qui s'installerait sur leurs bords et qui aurait pour base le sulfate de soude. Si on n'a encore rien fait, c'est que jusque dans ces derniers temps les moyens de communication manquaient et que le pays a été longtemps en proie à la guerre civile. Ce n'est que récemment qu'on a pu s'occuper d'industrie.

On pourrait extraire le sel comme le font aujourd'hui les gens du pays qui entrent dans le lac et le ramassent à la main. On pourrait encore procéder par voie d'évaporation naturelle dans des bassins gradués, convenablement agencés sur des terrains contigus aux lacs.

Le sulfate de soude ainsi extrait peut être utilisé sous diverses formes.

La Russie se trouve au point de vue de la production de la soude dans des conditions toutes particulières. Tout le monde connaît l'importance commerciale de la soude et la place qu'elle occupe dans l'industrie chimique sous ses diverses formes, sulfate, carbonate ou caustique. Néanmoins, malgré les besoins pressants de son industrie, la Russie ne possède pas encore de fabrique de soude, et reste à cet égard tributaire de l'étranger, notamment de l'Angleterre. Aussi le gouvernement russe attache-t-il la plus grande importance à la création de l'industrie soudière indigène.

La soude s'obtient par deux procédés différents : l'ancien procédé *Leblanc* ou les nouveaux procédés à l'ammoniaque (*Solvay*, *Schlœsing, etc.*). Dans les deux systèmes, la base des opérations est toujours le sel marin.

Le procédé Leblanc, très sûr d'application et de résultat, comporte une première fabrication préalable d'acide sulfurique avec ses approvisionnements de soufre natif ou de pyrites, son coûteux matériel de chambres de plomb, ce qui constitue une première usine importante, puis une seconde installation, presque aussi coûteuse pour la production du sulfate, avant de passer à la troisième usine, qui fabrique et livre la soude calcinée.

La création de trois usines importantes a fait reculer les industriels.

Les nouveaux procédés à l'ammoniaque transforment directement le sel marin en bicarbonate de soude par l'action simultanée de l'acide carbonique et de l'ammoniaque ; ce dernier produit n'est pas fabriqué couramment en Russie ; il faut le demander à l'étranger.

De plus, ces derniers procédés sont délicats ; essayés sur deux points par quelques industriels, ils ont donné des mécomptes qui ont découragé de nouvelles tentatives.

Telles sont les raisons qui ont empêché jusqu'ici le développement de l'industrie soudière en Russie.

Le procédé *Leblanc*, qui donne des résultats excellents, reste d'une pratique simple et sûre à la condition qu'on le débarrasse de l'énorme complication de la double fabrication de l'acide sulfurique et du sulfate de soude;

l'idéal serait de trouver ce sulfate de soude pur, tout fabriqué ou formé et à bon marché.

C'est précisément ce *desideratum* que peut satisfaire l'exploitation du produit naturel emprunté aux lacs que je viens de décrire. En supprimant d'un seul coup les frais d'établissement des deux usines avec leurs annexes et les frais de traitement préalables, en livrant un produit aussi pur que celui de la fabrication à un prix bien inférieur, même transporté très loin, l'exploitation des lacs est destinée à constituer un monopole défiant toute concurrence.

Il faut ajouter que les matières premières nécessaires à la fabrication de la soude, c'est-à-dire la craie et le charbon se trouvent en abondance dans le voisinage des lacs.

M. le Président donne la parole à M. Clerc pour sa communication sur une nouvelle théorie de la résistance des poutres.

Nouvelle théorie de la résistance des poutres.

Tous les ingénieurs connaissent les difficultés que l'on rencontre dans l'étude de la flexion des solides, et notamment pour le calcul des poutres métalliques destinées aux travaux d'art, et qui constituent l'application industrielle la plus importante de cette théorie.

Ces difficultés viennent principalement de ce que, dans la plupart des problèmes auxquels ces applications donnent lieu, il se présente, comme inconnues, certaines réactions que l'on ne peut déterminer qu'en tenant compte de la déformation, et les formules faisant connaître cette déformation sont restées compliquées, et cela, malgré que, dans l'état actuel des méthodes, elles ne se prêtent pas à une solution pratique des problèmes posés d'une manière générale. Aussi, est-on conduit à faire des hypothèses, telles que celle de la constance des moments d'inertie et des sections, et celle de la répartition uniforme des charges, hypothèses auxquelles on est habitué aujourd'hui, et qui ne surprennent plus, malgré leur désaccord avec la réalité.

En l'état actuel de la question, on voit qu'il serait à désirer que l'on pût établir une formule, qui d'abord fût générale, permettant, si on le juge utile, de se dispenser de faire des hypothèses sur le mode de répartition des charges ou sur les dimensions de la poutre, mais en même temps, d'une forme qui en rendît l'application pratique en employant les procédés familiers aux ingénieurs. Il serait non moins à désirer que cette formule fût facile à retenir ou à retrouver.

C'est à ce résultat que nous croyons être arrivé, par l'établissement d'une formule, dégagée des hypothèses précédentes, susceptible de s'énoncer en langage ordinaire, et d'être démontrée, au besoin, d'une manière élémentaire.

Principe de la méthode.

Le perfectionnement que nous proposons consiste, en principe, dans un

nouveau mode de démonstration de la formule de la déformation des poutres, lequel mode peut s'appliquer aussi bien aux poutres courbes qu'aux poutres droites.

Pour ce qui concerne les poutres droites, par exemple, nous établissons, par une démonstration tout à fait élémentaire, que le déplacement vertical relatif de deux points A et B d'une poutre, peut être représenté par l'expression du moment d'une surface dont les ordonnées auraient les valeurs de $\frac{\mu}{EI}$ entre le point A et le point B. Cette surface étant censée tourner autour d'un axe passant par un des points considérés.

La formule de la déformation s'écrit alors en abrégé :

$$h = mom._{B}^{A} \frac{\mu}{EI}.$$

h exprime le déplacement relatif des deux points,

μ, le moment fléchissant pour un point quelconque entre le point A et le point B,

I le moment d'inertie de la section au même point,

E le coefficient d'élasticité de la matière de la poutre.

Les indices A et B font connaître les limites entre lesquelles on doit prendre le moment de la surface, et l'indice supérieur A, la position de l'axe autour duquel la surface est censée tourner.

On ne doit attacher, du reste, aucune signification géométrique ou mécanique à cette expression de moment d'une surface qui n'intervient ici que pour indiquer, d'une façon très claire, les opérations à effectuer en même temps que les limites entre lesquelles on doit opérer.

Application de la formule aux poutres continues.

Une des applications les plus importantes des formules de la déformation, est celle que l'on en a faite à la recherche des valeurs des moments fléchissants sur les appuis d'une poutre continue.

La valeur de ces moments se détermine habituellement au moyen de la formule de Clapeyron, qui suppose les sections constantes et les charges uniformément réparties. Cette formule s'écrit ainsi :

$$\text{(H)} \qquad \mu_A \times l + 2\mu_B (l + l') + \mu_C l' = \frac{1}{4} p l^3 + \frac{1}{4} p' l'^3.$$

μ_A, μ_B, μ_C, représentent les valeurs des moments sur les trois appuis consécutifs de deux travées contiguës,

l et l' sont les longueurs de ces travées,

p et p' sont les charges par mètre courant dans les travées.

L'emploi de notre formule générale nous a conduit à cette autre formule, entre les mêmes moments :

$$\text{(L)} \qquad \left(\frac{\overset{A}{M_B}}{l} - \frac{\overset{A}{J_B}}{l^2}\right)\overset{A}{\mu} + \left(\frac{\overset{A}{J_B}}{l^2} + \frac{\overset{C}{J_B}}{l'^2}\right)\overset{B}{\mu} + \left(\frac{\overset{C}{M_B}}{l'} - \frac{\overset{C}{J_B}}{l'^2}\right)\underset{C}{\mu}$$

$$= mom.\overset{A}{\underset{B}{}} \frac{\mathcal{M}}{EI} + mom.\overset{C}{\underset{B}{}} \frac{\mathcal{M}}{EI} + \frac{y_1 - y_2}{l} + \frac{y_3 - y_2}{l'},$$

équation absolument générale, et qui ne suppose rien, ni sur la répartition des charges, ni sur la disposition de la matière dans la poutre.

Les nombres M et J représentent, le premier, le moment, et le second, le le moment d'inertie d'une surface dont les ordonnées seraient les valeurs de $\frac{1}{EI}$. Dans la pratique, ces surfaces sont composées d'éléments simples et le calcul de ces coefficients est facile; les lettres $\mathcal{M}$, représentent les valeurs des moments que produiraient les charges dans les travées considérées isolément, et comme si ces travées étaient sciées sur leurs appuis; valeurs que l'on sait, dans tous les cas, déterminer *à priori.*

Les valeurs des y sont relatives aux tassements qui ont pu se produire dans les appuis.

Applications numériques. — Conséquences

Le premier bénéfice que l'on pourra retirer de l'emploi des formules ainsi généralisées, sera sans doute, dans le contrôle des résultats auxquels conduit l'emploi des formules restreintes.

Voici quelques-unes des conséquences auxquelles une semblable vérification nous a conduits.

Nous avons examiné le cas d'une poutre à trois travées égales de 40 mètres de portée chacune, calculée pour supporter un poids mort de 1,000 kilogrammes par mètre courant et une surcharge d'épreuve de 2,000 kilogrammes; la poutre ayant été primitivement établie avec toutes les hypothèses de surcharge les plus défavorables.

D'après ces données, et en supposant d'abord les sections constantes et un poids uniformément réparti à raison de 3,000 kilogrammes par mètre courant, sur les trois travées, nous avons trouvé, pour la valeur du moment sur chaque pile, le chiffre de 480 tonnes-mètres.

D'autre part, en tenant compte des variations des sections, cette valeur calculée au moyen de notre formule générale, s'est trouvée réduite à 450 tonnes-mètres.

L'écart est de 6,2 pour 100 environ, il en résulte une augmentation correspondante pour les valeurs des moments au milieu des travées.

Dans d'autres applications, cet écart n'a pas été supérieur au chiffre ci-dessus, et nous dirons qu'en général, il est assez faible sans être absolument négligeable. Certaines conditions exceptionnelles peuvent l'augmenter ou le diminuer.

Effet des dénivellations dans les appuis des poutres continues.

Pour terminer, nous appellerons l'attention sur l'effet que peuvent produire des dénivellations provenant de tassements dans les appuis des poutres continues, effet qui, selon nous, a été très exagéré.

Il est absolument indispensable pour étudier cette déformation d'introduire, dans les calculs, les valeurs des moments d'inertie des sections qui donnent la mesure de la flexibilité de la poutre.

M. Bresse, dans son ouvrage très remarquable et bien connu sur les poutres continues, a traité le cas des dénivellations, et il a fait une application à une poutre en trois travées égales de 40 mètres de portée, en supposant la section constante, et calculée d'après un moment fléchissant pris arbitrairement et égal à un maximum, et en prenant le coefficient R égal à $3^k. \times 10^6$. Dans ces conditions, M. Bresse a trouvé que, pour doubler le moment sur une pile, il suffirait d'un tassement de $0^m,05$ entre les deux piles, combiné avec un tassement de $0^m,025$ pour chacune des culées.

De notre côté, et en employant notre formule générale, nous avons trouvé que, pour la poutre établie dans les conditions définies plus haut, et en employant les coefficients usuels, il faudrait pour produire le même résultat, un tassement de $0^m,22$ entre les deux piles combiné avec un tassement de $0^m,110$ pour chaque culée. Notons que le travail du métal ne se trouvera pas, pour cela, doublé dans la section considérée.

Cet écart, relativement considérable, entre ces derniers résultats et ceux qui ont été obtenus par M. Bresse, doit être attribué, pour une partie (moitié environ), aux choix des coefficents, et, pour le reste, à la valeur du moment résistant moyen de la poutre, pris arbitrairement dans le premier cas.

Quoi qu'il en soit, il ne s'agit plus ici d'une déformation qui puisse se produire fortuitement et subsister sans qu'on l'aperçoive, et c'est là un point très important.

On sait qu'un certain nombre d'ingénieurs, préoccupés de cet effet des dénivellations se montrent peu favorables, et quelques-uns même complètement opposés, à l'emploi des poutres continues. Or rien ne serait plus simple que de prévoir dans un projet, telle dénivellation que l'on jugerait possible, et d'ajouter du métal en certains points, ainsi qu'on le fait pour les travées qui doivent se trouver en porte-à-faux pendant le lançage. La dépense à laquelle on sera conduit par cette addition de métal, ne sera presque jamais comparable à l'économie qui résulte de la possibilité d'opérer le lançage de la poutre.

On conviendra qu'il est intéressant de ne pas repousser, à cause d'inconvénients qui n'ont pas été bien étudiés, et qui, en tous cas, ne sont pas irrémédiables, une solution aussi pratique que celle des poutres continues, qui présentent un si grand avantage au point de vue de la mise en place de l'ouvrage.

Nous ne doutons pas qu'une étude plus approfondie ne fasse disparaître, à ce sujet, toute prévention.

M. DALLOT ne pense pas que la possibilité du tassement des appuis soit un argument contre l'emploi des poutres continues, attendu qu'il suffit, pour prévenir tout inconvénient de ce genre, de placer sous les parties d'appuis des appareils de réglage permettant de compenser les variations de niveau.

M. DE COMBEROUSSE, rappelant les précédents de la question, dit que si on est redevable à Clapeyron de la formule des trois moments, Belanger l'a étendue et généralisée, en tenant compte des différences de niveau des points d'appui; M. Clerc vient de faire faire un pas de plus à la question en laissant la répartition des charges et des sections tout à fait arbitraire. M. Clerc a eu raison de préconiser les poutres continues au point de vue de lançage, mais ces poutres n'offrent-elles pas quelques désavantages, soit à cause des variations de sens des efforts subis par le métal, soit au point de vue militaire, alors que la destruction d'une partie peut entraîner la ruine entière de l'ouvrage, ce qui n'a pas lieu pour les poutres discontinues; quant aux vibrations, il faudrait en tenir compte dans les deux espèces de poutres. En tout cas la question de la préférence à donner aux poutres continues ou discontinues ne semble pas encore résolue.

M. DALLOT est d'avis que l'avantage appartient sans conteste aux poutres continues; il a depuis de longues années soutenu cette opinion, qui est celle de tous les ingénieurs s'occupant de ponts métalliques au point de vue pratique. Les alternatives de traction et de compression n'ont aucune importance, si l'on considère le faible coefficient auquel on fait travailler le métal.

Au point de vue militaire, la destruction la plus complète est la meilleure, car, avec les perfectionnements de l'outillage et du matériel des armées modernes en campagne, une seule travée détruite serait facilement et promptement réparée dans la plupart des cas. En ce qui concerne les vibrations, l'avantage est encore évidemment à la poutre continue, qui oppose aux vibrations produites par le passage d'un train, une masse bien plus considérable.

M. de COMBEROUSSE ne croit pas que tous les ingénieurs soient aussi unanimes que le pense M. Dallot dans la préférence à accorder aux poutres continues; il connaît, pour sa part, des ingénieurs expérimentés qui ne sont pas aussi absolus, à beaucoup près; mais il ne voulait pas introduire isolément une question qu'il croit délicate; il voulait simplement signaler à l'attention de la Société le travail de M. Clerc. L'introduction de ce que l'auteur de la communication appelle le moment d'une surface, lui paraît concorder très heureusement avec les constructions graphiques à l'aide desquelles on résume aujourd'hui les calculs sur les ponts métalliques, et M. Clerc en tirera certainement parti dans la continuation de ses intéressantes études.

M. le Président, après avoir remercié M. Clerc de sa communication, rappelle qu'au moment où la Société va entrer en vacances, il y a lieu de se préoccuper de l'alimentation des bulletins pendant cette période; il demande donc la permission de faire donner lecture, avant la communication de M. Douau, du résumé fait par M. Sergueeff d'un Mémoire de M. Gardé sur la distillation de la térébenthine, qui devra paraître *in extenso* dans le Bulletin.

M. Gardé, dans un mémoire intéressant, étudie la question de la distillation de la térébenthine. Il signale la souffrance de cette industrie dans les départements de la Gironde et des Landes, qui ont à subir une concurrence redoutable des produits similaires de l'Amérique du Sud.

Pour soutenir avec avantage cette lutte, M. Gardé dit que, la main-d'œuvre étant réduite dans cette industrie à son minimum (une heure par jour), on ne peut donc pas espérer d'économie de ce côté, il faut chercher à améliorer le mode de fabrication.

Jusqu'ici on se contentait de distiller la térébenthine dans des chaudières à feu nu, en y projetant de l'eau pour faciliter le départ de l'huile essentielle.

M. Gardé mettant à profit les leçons de notre maître, M. Payen, s'est surtout attaché dans les opérations de ce genre aux moyens de diminuer la température et le temps de la distillation.

Ayant eu l'occasion de faire sur la térébenthine une série d'essais, l'auteur propose un nouveau mode de distillation, en se servant d'un générateur spécial pour l'introduction de la vapeur d'eau dans la masse à distiller.

La durée de l'opération se trouve notablement abrégée, les produits sont plus beaux et les frais de fabrication sont diminués.

Le Mémoire contient des calculs intéressants sur les frais de distillation.

L'ordre du jour appelle la communication de M. Douau sur l'inoxydation, la dorure et le platinage des métaux.

M. Douau donne communication de sa note sur l'inoxydation, la dorure et le platinage des métaux, dans les termes suivants :

Messieurs,

Le travail que nous avons l'honneur de vous présenter nous a paru devoir appeler votre attention; les procédés dont nous désirons vous entretenir sont en effet absolument nouveaux, et nous avons tenu, comme membre de la Société, à vous en donner la primeur.

Nous avons d'abord, dans un résumé sommaire, fait un historique de la question qui nous occupe, en examinant ce qui a pu être fait dans ce sens jusqu'à aujourd'hui, et dont nous avons pu avoir connaissance; puis nous sommes passé à l'examen plus détaillé des procédés particuliers que nous désirons vous faire connaître.

L'oxydation du fer ou de la fonte, dont l'usage est aujourd'hui si répandu,

est un grave inconvénient, et de nombreuses recherches ont été faites depuis de longues années pour l'éviter, ou tout au moins pour l'atténuer autant qu'il est possible. — Nous avons à peine besoin d'insister sur ce point; tout le monde sait, en effet, qu'une fois la rouille formée, l'oxydation se propage rapidement dans la masse et, à la longue, le métal se trouve complètement attaqué; nous nous contenterons de signaler la cause déterminante de pareils faits. Dès que l'hydrate ferrique est formé, celui-ci forme avec le métal un couple voltaïque, et cette oxydation augmente par suite de la décomposition de l'eau, dont l'oxygène se porte sur le fer, tandis que son hydrogène rencontrant, à l'état naissant, l'azote de l'air, produit de l'ammoniaque; on constate toujours, en effet, que la rouille est accompagnée de carbonate d'ammoniaque.

Le savant chimiste Kuhlmann donne du même phénomène l'explication suivante : il admet que le fer métallique enlève une partie de l'oxygène au sesquioxyde formé, et que la rouille, ainsi ramenée à un degré inférieur d'oxydation, enlève à l'air une nouvelle quantité d'oxygène.

Pour se mettre à l'abri des inconvénients qui résultent d'un pareil état de choses, de nombreux moyens ont été proposés et expérimentés; ils consistent à recouvrir le métal, soit d'un corps gras ou d'un vernis, soit à protéger sa surface par un autre métal, ou enfin à recourir à un véritable émaillage.

Indiquons sommairement les procédés qui rentrent dans chacune de ces différentes classes.

I. — Emploi d'un corps gras ou d'un vernis.

a — L'emploi d'un corps gras est le plus généralement usité; on fait usage de peinture au *minium;* mais il nous semble bon de profiter de l'occasion qui nous est offerte pour protester énergiquement contre un *moyen* qui tend à se généraliser chaque jour à cause du bon marché qu'il présente, c'est celui d'employer du *minium de fer;* il est bon qu'on sache bien que la préservation est alors illusoire.

b — On recommande également d'appliquer sur les objets chauffés une solution obtenue de la manière suivante :

10 parties de soude caustique,
500 parties d'eau,

ajouter 5 parties de cire jaune, et, après avoir bien mélangé, laisser refroidir.

c — On fait bouillir une partie de soufre dans dix parties de térébenthine, ce qui produit une huile sulfureuse d'une odeur désagréable; on en peint légèrement les objets, et on les chauffe jusqu'à ce qu'un *vernis noir* apparaisse.

II. — Protection par un autre métal.

On peut recouvrir le fer, soit d'une couche de zinc, d'étain ou de cuivre.

a — Le fer étamé ou fer-blanc est à l'abri de l'action oxydante de l'air humide, à la condition *essentielle* que cet étamage ne présente aucune solution de continuité; s'il en est autrement, le fer électro-positif, par rapport à l'étain, s'oxyde plus rapidement que du fer ordinaire brut, ainsi que l'on s'en rend compte facilement en faisant une entaille à une lame de fer-blanc.

Sans entrer dans le détail des moyens généralement employés pour obtenir l'étamage du fer, lesquels demandent une grande habileté et une grande expérience, nous dirons simplement que lorsque cet étamage est obtenu par immersion simple, le métal déposé a une structure cristalline, et l'adhérence avec le corps sous-jacent n'est pas parfaite. On peut au contraire l'obtenir facilement en employant le procédé électro-chimique de MM. Gauduin, Mignon et Rouart.

Cette observation s'applique d'ailleurs dans son entier, lorsque l'étain est remplacé par le zinc.

b — Le *fer zingué* ou *galvanisé* est de beaucoup préférable au *fer étamé;* la protection due au zinc est de beaucoup plus efficace, car si l'oxygène de l'air vient à agir, c'est sur le zinc qu'il se porte et non sur le fer, qui est électro-négatif par rapport à ce métal, tandis qu'il est au contraire électro-positif par rapport à l'étain.

Nous devons ajouter que lorsque le zinguage est fait par immersion, le fer est rendu plus cassant, et, s'il est en lames minces, il y a déformation.

c — Quant au cuivrage du fer ou de la fonte, on n'a pu, pendant de longues années, en faire usage, industriellement parlant, par suite de la difficulté que l'on éprouvait à obtenir l'adhérence complète des deux métaux; MM. Gauduin, Mignon et Rouart ont résolu le problème et sont arrivés à déposer directement le cuivre sur le fer ou la fonte sans interposition de matière étrangère, et par un procédé électro-chimique analogue à celui qu'ils ont découvert et mis en pratique pour l'étamage.

Les échantillons de cuivrage que nous mettons sous vos yeux, vous montrent à l'évidence que l'adhérence des deux métaux cuivre et fonte est bien complète.

Ajoutons d'ailleurs que le cuivrage a eu surtout pour application de donner à la fonte d'art l'aspect du bronze, et que son emploi a donc été forcément très limité jusqu'à ce jour.

III. — Émaillage.

Le fer émaillé, dit controxydé, de M. Pâris, est recouvert d'une glaçure qui présente de la transparence; sa résistance et son inaltérabilité permettent de le substituer au fer étamé dans plusieurs usages domestiques. La composition destinée à fournir cet émail est :

Flint-glass	130
Carbonate de soude	20,5
Acide borique	12

M. Salvetat, l'habile chimiste de la manufacture de Sèvres, qui a publié d'intéressants renseignements sur les émaux, a proposé de remplacer ces dosages par l'emploi des matières suivantes bien définies, et dont l'ensemble équivaut au mélange précédent :

Sable	48
Minium	30
Carbonate de soude	30
Acide borique cristallisé	10

Enfin, pour compléter cet exposé, nous indiquerons l'emploi de la *glu marine* et de l'enduit Moller, pour préserver les métaux de l'oxydation, et le procédé de M. Barff, qui consiste à protéger le fer par une couche de son sesquioxyde (Fe^2O^3), procédé adopté par le gouvernement français pour le bronzage des canons de fusils.

Un autre procédé plus nouveau se rapproche du précédent; il est dû à M. Bover, et il consiste à développer sur la pièce une couche d'oxyde magnétique Fe^3O^4; mais son application n'a pu se faire, jusqu'à présent, que sur les pièces de fonte.

On nous a même indiqué, il y a peu de temps, une application faite à la colonie anglaise du Cap, en employant la sève de certaines plantes du genre Eucalyptus, et dont les résultats auraient été des plus satisfaisants; mais des renseignements précis nous font défaut, et nous devons forcément nous borner à cette simple mention.

Ces préliminaires posés, nous avons à nous occuper de procédés particuliers d'inoxydation, dont les premières expériences remontent à une année à peine, et qui nous semblent devoir se prêter à des applications industrielles, d'autant plus importantes qu'il vient s'y ajouter des moyens de platiner, de dorer et de bronzer le métal, fer, fonte, etc., de manière à obtenir des pièces qui, traitées de cette manière, ont un véritable caractère décoratif.

Ces procédés, exploités par la Société française d'inoxydation et de platinage, permettent d'obtenir des produits résistant à deux éléments destructeurs par excellence : l'eau d'une part, le feu de l'autre; pour ce

dernier, son action ne se fait sentir qu'au delà de certaines limites rarement atteintes dans les conditions que nous qualifierons de normales, les températures du rouge n'étant, on peut le dire, qu'exceptionnelles.

De nouvelles recherches ont suivi les premiers essais; ce qui n'était presque, il y a un an, qu'une expérience de laboratoire, a été pratiqué plus en grand, plus industriellement, et en présence des résultats obtenus, tous ceux qui se préoccupent de l'emploi du métal spécialement dans les constructions et dans un certain nombre d'applications d'économie domestique, ne sauraient se désintéresser de la question que nous traitons aujourd'hui.

Nous allons maintenant entrer dans les développements qui nous semblent indispensables pour montrer ce que l'on peut obtenir par l'application de ces nouvelles méthodes qui rentrent un peu dans ce que l'on peut appeler l'émaillage; mais nous devons immédiatement faire la réserve suivante dont l'importance n'échappera à personne, c'est qu'avec l'émaillage on se heurte à un *inconvénient inévitable*, celui d'*empâter* la pièce surtout si elle présente des parties d'ornement un peu délicates; de plus les produits obtenus prennent l'*aspect de la céramique*, tandis qu'au contraire, dans le cas qui nous occupe, les mêmes défauts ne se présentent pas et le caractère du métal est absolument conservé.

I. — Inoxydation.

La pièce que nous supposerons être en fonte, après avoir été convenablement brossée et nettoyée, est recouverte, soit par immersion dans un bain, soit au moyen d'un pinceau ou d'une brosse, d'une couche aussi mince que possible, d'un enduit ayant la consistance de la gomme très fluide, et dont les bases sont le borate de plomb mélangé d'oxydes divers, tels que oxyde de cuivre, de cobalt, de manganèse, suivant la teinte à obtenir, et de platine à l'état de division extrême.

La proportion de ces oxydes est variable suivant la teinte à obtenir d'une part, et d'autre part suivant que la pièce doit être mate, demi-brillante ou brillante; elle varie généralement entre 5 et 15 pour 100.

Cet enduit est d'ailleurs préparé de la manière suivante : on prend 1 kil. borate de plomb auquel on ajoute la quantité d'oxyde métallique convenable, et l'on broie avec de l'eau pour obtenir le produit à l'état de division extrême, de façon qu'il se tienne en suspension dans l'eau ; puis on laisse reposer. On ajoute ensuite le platine également divisé et qui s'obtient facilement en faisant dissoudre dans un litre d'eau distillée 12 grammes de chlorure de platine cristallisé; on précipite le métal par l'addition de 25 centilitres d'ammoniaque, on laisse reposer et après lavage on a le platine sous forme de matière brune et à un état de ténuité extrême.

Le mélange de borate de plomb, d'oxyde métallique et de platine est de nouveau broyé; pour les proportions indiquées ci-dessus, on ajoute 5 litres d'eau, et on a ainsi l'enduit que l'on applique sur la pièce à inoxyder. On soumet la pièce ainsi préparée à l'action d'un feu de moufle, à la

température rouge cerise; une décomposition accompagnée d'une sorte de vitrification très légère se produit et cette pièce est ainsi rendue inoxydable.

Indiquons maintenant les observations qui peuvent être présentées, elles peuvent se résumer comme suit :

1° La couche inoxydable étant appliquée, y a-t-il adhérence complète avec le métal?

2° Sous l'influence atmosphérique et notamment les pièces étant soumises à des variations brusques de température, cette adhérence se trouve-t-elle altérée?

3° Le mode d'application au pinceau ne devient-il pas difficile sur les grandes pièces et l'enduit étant sec à un endroit, lorsque l'on viendra redonner une seconde couche, ne se produira-t-il pas des solutions de continuité?

4° Enfin ce même mode d'application n'empâtera-t-il pas les détails des pièces fines de manière à les rendre plus imparfaites et par suite impropres à la décoration artistique proprement dite?

Nous allons examiner successivement ces différents points en prenant comme base les résultats qui ont été obtenus et que nous avons constatés *de visu*.

En raison même de la manière dont le travail s'effectue c'est-à-dire à une température élevée, nous pouvons dire que l'adhérence existe bien avec le métal sous-jacent; la meilleure preuve que nous en puissions donner, c'est qu'une pièce de fonte préparée étant cassée, on constate la pénétration de l'enduit à une certaine profondeur; il ne s'écaille pas ni ne se lève pas par plaques, ainsi qu'on peut le constater en frottant violemment deux pièces l'une contre l'autre.

Pour ce qui est de la résistance à l'eau, nous dirons simplement que nombre de pièces qui avaient longuement été soumises à son action, ne laissaient paraître aucune trace d'oxyde. Quant aux variations brusques de température, elles sont comprises dans des limites telles que, vu le mode d'application, elles ne peuvent agir destructivement sur la couverte.

Quant au mode d'application au pinceau, il est certainement délicat, mais l'habileté de l'ouvrier peut être telle que l'on peut ne pas avoir trop de souci de l'objection et il convient de ne point s'y arrêter outre mesure. Du reste cette application ne se fait de la sorte que pour les pièces présentant des détails délicats d'ornementation, dans les autres cas on procède par immersion simple.

Enfin la superposition des couches ne peut être une cause de manque d'adhérence puisque, ainsi que nous l'avons indiqué, il se produit une véritable fusion de l'enduit et que, dans ces conditions, le seul inconvénient que que l'on puisse constater, c'est d'avoir inégalité dans l'épaisseur de la couche recouvrant le métal.

Nous nous sommes étendus un peu longuement sur ce premier point pour n'avoir pas à répéter constamment les mêmes observations en nous occupant des opérations qui vont suivre.

Ajoutons que la teinte que présente la pièce est très satisfaisante à l'œil et qu'elle peut s'harmoniser avec certaines parties de construction pour des panneaux de porte, par exemple, des rosaces etc..., cette teinte est à peu près celle du fer forgé et, pour certains ornements en fonte, elle est très avantageuse ainsi qu'on se l'explique facilement.

II. — Enduit brillant sur pièce inoxydée.

Pour arriver à ce résultat, le métal est recouvert toujours de la même manière d'une deuxième couche de l'enduit dont on a fait usage pour l'inoxydation simple, en remarquant toutefois que la proportion d'oxyde métallique (cuivre, cobalt, manganèse) est plus grande que dans le premier cas. Puis on porte au moufle dans les mêmes conditions que précédemment, la température étant moins élevée que dans la première opération.

L'apparence des pièces ainsi préparées rappelle assez l'émaillage, en se rappelant toutefois l'observation que nous avons formulée plus haut et que nous répétons ici, c'est que l'apparence n'est pas *vitreuse* et que l'on sent bien que l'on est en présence d'un métal.

De plus, grâce aux oxydes métalliques, on a pu obtenir des teintes différentes et enfin, point à noter, cet enduit peut se présenter avec des *parties mates* qui font ressortir davantage celles brillantes, qui par leur présence simultanée font une décoration simple, mais à la fois très heureuse.

Nous en avons vu des applications sur des fontaines appliques, sur des lambrequins, sur des articles de fumisterie, et c'est surtout en ce qui con-concerne ces derniers produits que l'application du procédé peut, ainsi que nous l'avions prévu lors des premiers essais, recevoir promptement une application industrielle importante.

III. — Platinage.

Le platinage est obtenu en prenant une pièce ayant déjà subi l'inoxydation mate ou brillante que nous venons d'indiquer; mais pour n'avoir pas à craindre les inconvénients qui ne manqueraient pas de se produire si la pièce était imparfaitement inoxydée, on doit toujours avoir soin de procéder deux fois à l'inoxydation; car si le platine venait à se trouver directement en contact avec le métal sous-jacent, fer ou fonte, il se produirait, mais avec une intensité encore plus grande, l'inconvénient grave que nous avons indiqué en parlant du fer étamé. Le fer est électro-positif par rapport au platine et l'oxydation se produirait très rapidement. — On peut donc être certain qu'une pièce est bien inoxydée si, en la platinant, on ne voit pas apparaître de trace d'oxyde.

M. Douau, pour bien démontrer le fait très singulier et très remarquable qu'il vient de signaler, procède comme suit : il plonge simplement dans l'eau quelques petites pièces platinées, certaines d'entre elles ayant été à dessein *imparfaitement inoxydées;* au bout de quelque temps on constate en effet

le développement très intense de l'oxyde ferrique ; celles au contraire dont l'inoxydation était complète sont restées dans le même état.

C'est là une preuve même de la valeur du procédé et il nous a semblé utile d'appeler tout spécialement l'attention sur ce point.

La pièce à platiner est recouverte d'une couche de la liqueur platinifère, laquelle est obtenue comme nous allons l'indiquer.

Voici d'ailleurs les renseignements relatifs aux produits dont on fait usage et sur leur mode d'emploi, la pièce étant *supposée brute*.

On mélange ensemble 10 kilogrammes borate de plomb et 2 kilogrammes oxyde de cuivre, que l'on broie finement avec de l'essence de térébenthine; après quoi on ajoute 50 grammes huile de pied de bœuf et l'ou soumet à une douce chaleur pour rendre la matière fluide.

La pièce à platiner est ensuite, au moyen d'une brosse, couverte d'essence de térébenthine et on l'abandonne quelques instants à l'air pour la faire sécher. On recommence ensuite l'opération en faisant usage de la matière dont nous avons donné la composition ci-dessus; ou porte dans un séchoir et la pièce prend une teinte vert noir; après refroidissement, il ne reste plus qu'à procéder au platinage.

A cet effet on mélange intimement 10 kilogrammes borate de plomb, 5 kilogrammes litharge d'Allemagne avec addition d'essence de lavande.

Puis on prend 5 kilogrammes platine amené à l'état de chlorure bien sec, sur lequel on verse 2 kilogrammes d'éther ordinaire qui agit comme dissolvant du chlorure de platine. La dissolution opérée, on verse doucement 15 kilogr. essence de lavande en ayant soin de remuer d'une manière continue.

On laisse reposer et on verse le produit platinifère sur le mélange de borate de plomb et de litharge; après quoi on additionne de 20 kilogrammes alcool amylique (Hydrate de pentyle $C^5 H^{12} O$. — Schèele 1785, Cahours et Balard 1830).

Il ne reste plus qu'à recouvrir la pièce de cette liqueur, ainsi que nous l'avons fait dans les précédentes opérations.

Il est d'ailleurs bien entendu que, si l'on a procédé au préalable à l'inoxydation mate ou brillante de la pièce à platiner, la deuxième des opérations que nous venons d'indiquer est seule nécessaire.

Les pièces ainsi préparées sont portées à l'étuve, séchées puis mises au moufle à la température de 350 à 400°, selon la fusibilité de l'émail sous-jacent. L'essence de lavande se brûle et le platine se dépose à l'état métallique. L'aspect est mat ou brillant selon la nature de la première couche mate ou brillante elle-même.

Pour montrer la résistance d'une pièce ainsi préparée, aux variations de chaleur, nous avons fait personnellement l'expérience suivante devant un ingénieur suisse qui n'avait qu'une faible confiance sur le mérite du procédé et sur la valeur du résultat obtenu.

Nous avons pris une rosace en fonte platinée, inoxydée, avec des parties mates et brillantes, et, à deux reprises différentes, nous l'avons soumise à l'action d'un feu de forge; la pièce était en contact avec le

charbon, et le ventilateur était ouvert en grand. En ne poussant la température qu'au rouge sombre, on constatait, après refroidissement, que tout était revenu en l'état primitif; au contraire, à la seconde opération, en poussant presque à la fusion, on a pu voir que les parties directement en contact avec le combustible, restaient défectueuses, et que l'enduit s'était gercé et avait disparu en partie. Mais ce sont là, nous le répétons, des conditions exceptionnellement désavantageuses et anormales qui ne se présenteront pas en pratique, et elles ont, disons-le, pleinement convaincu notre contradicteur d'un moment.

Le platine apparaît plus ou moins brillant selon l'éclat de l'enduit sous-jacent, on peut donc ainsi, comme dans le cas précédent, obtenir des oppositions de tons qui facilitent la décoration.

IV. — Dorure.

C'est en ce qui concerne cette dernière opération que les résultats ont été, dès le début, les plus remarquables. Nous sortons, en effet, des moyens ordinaires employés : dorure à la feuille, dorure au trempé, dorure au mercure, dorure galvanique, la première seule pouvant se faire directement sur le fer ou sur la fonte, et étant, comme chacun le sait, assez imparfaite. Si l'on a des pièces de cette matière que l'on veuille dorer solidement, il faut commencer par les cuivrer; l'opération est déjà délicate, coûteuse, et, dans la plupart des cas, il arrive que l'on a plus d'économie à faire la pièce en *bronze* au lieu de fonte, pour la dorer ensuite. C'est là, comme on le voit, un défaut dont la gravité n'échappera à personne, sans qu'il soit même utile d'insister plus longuement.

Avec les procédés de la Société française d'inoxydation et de platinage, on peut dorer directement la pièce de fer ou de fonte, soit qu'elle ait été simplement inoxydée ou qu'elle ait subi la deuxième opération, qui consiste à la recouvrir d'un enduit plus ou moins brillant. On obtiendra ainsi, selon les cas, de la dorure *mate* ou brillante, sans avoir à passer par l'opération du brunissage, et on peut obtenir des teintes également différentes, selon la proportion de chlorure d'or en dissolution dans la liqueur employée à cet effet, et qui renferme de l'essence de lavande. Comme on le voit, c'est là une chose absolument nouvelle, et qui permettra des applications plus nombreuses de la dorure sur fer et sur fonte, en même temps que l'on jouira de deux avantages sérieux : économie dans le prix de revient, comparativement aux procédés ordinaires autres que la dorure à la feuille, en même temps que solidité plus grande des pièces dorées de cette manière.

L'opération est d'ailleurs très simple ; on applique au pinceau la liqueur d'or sur tous les points à dorer; on porte au moufle, comme pour le platinage, dans les mêmes conditions de température. Comme précédemment, nous allons donner les éléments constitutifs des produits dont on fait usage, et leur mode d'emploi.

Produit n° 1. — On dissout un kilogramme d'alun dans le minimum d'eau possible: on ajoute un litre d'ammoniaque, et l'alun se précipite sous forme de gelée épaisse; on recueille sur un filtre, on laisse égoutter, puis, dans une capsule de porcelaine, on procède à la dissolution du précipité par l'addition de 500 grammes d'acide azotique.

Dans une seconde capsule, on a préparé une liqueur obtenue en traitant 150 grammes de carbonate de cobalt par l'acide azotique, 200 grammes.

On mélange ensuite les deux dissolutions obtenues; on évapore à siccité, et l'on calcine dans un creuset; on obtient ainsi une matière qui entre dans la composition suivante :

Produit n° 2. — On fait fondre dans un creuset :

Produit n° 1	600	grammes.
Mine orange	3,200	—
Acide borique	800	—
Verre blanc pilé fin	200	—

La fusion opérée, on coule dans l'eau froide; on fait sécher, on broie finement avec addition d'essence de térébenthine.

Produit n° 3. — On dissout, dans une capsule de porcelaine :

Or pur	100	grammes.
Acide chlorhydrique	200	—
Acide azotique	100	—

puis on ajoute 2 grammes d'étain pur et 2 grammes d'acide arsénieux. On évapore la moitié des acides, et on laisse refroidir, après quoi on additionne avec 150 grammes d'eau distillée.

Produit n° 4. — L'on met dans un matras de verre :

150 grammes baume de soufre térébenthiné riche.
40 grammes térébenthine de Venise.
200 grammes essence de lavande.

On chauffe, et le liquide prend une couleur rouge foncé; l'opération arrivée à ce point, on laisse refroidir et on mélange, dans une capsule de porcelaine, les deux produits 3 et 4, en remuant fortement; il se forme alors une matière couleur brune, et qui s'épaissit rapidement. Après refroidissement, on retire le mieux possible les acides, et on laisse reposer; on additionne de 300 grammes d'essence de lavande, et on filtre, la liqueur *aurifère* reste sur le filtre.

Les opérations pour la dorure sont alors les suivantes : La pièce à dorer est enduite du produit n° 2; on laisse sécher, et on porte dans un four analogue à ceux des émailleurs; après cette opération, la teinte est bleu noir, et il ne reste plus, alors qu'elle est refroidie, qu'à la recouvrir d'une

couche de la liqueur d'or, et à procéder à la cuisson au feu de moufle, en ayant soin d'éviter les changements brusques de température.

On peut également faire la dorure sur les pièces platinées, en employant simplement la liqueur aurifère seule, ainsi que nous venons de le dire.

Pour donner une preuve de la solidité de cette dorure, nous dirons que nous avons une pièce ainsi préparée, qui se trouve depuis un an au-dessus d'une cuve de décapage à l'acide sulfurique; elle s'est convenablement comportée, et aujourd'hui encore, bien que ce soit une des premières pièces faites, elle se trouve dans un état de conservation très satisfaisant.

Nous terminerons cet exposé, qui pourra paraître peut-être un peu long, en disant que les procédés que nous venons de décrire nous semblent, en raison même de la variété des résultats qui peuvent être obtenus, devoir être employés avec succès dans une série d'applications immédiates, telles que les suivantes : articles de coin de feu, chenets, pelles, pincettes, intérieurs de cheminée, garde-feu, etc.; panneaux, rosaces, appuis de croisée et de communion, porte-couronnes, entourages de tombe, divers articles religieux, etc., etc., et enfin tout ce qui a trait aux objets que l'on veut préserver de l'oxydation, pour les écuries et les fontaines par exemple.

M. Clémandot demande à présenter quelques observations. Sans vouloir diminuer en rien l'intérêt qui s'attache aux procédés très nouveaux et très curieux qui viennent d'être exposés, M. Clémandot craint que la dimension des objets traités par ces procédés ne soit très restreinte, en raison des dimensions à donner aux fours à moufles. Le platinage et la dorure sont applicables seulement à des objets de luxe; leur prix est donc d'importance un peu secondaire. Mais, pour l'inoxydation qui s'appliquerait à beaucoup d'objets courants, le prix ne sera-t-il pas un obstacle? La main-d'œuvre n'est-elle pas coûteuse et les produits employés d'un prix élevé? En un mot les anciennes méthodes de décurage, étamage, etc., ne resteront-elles pas bien plus économiques?

M. Douau répond que, quant aux prix de revient, on comprendra facilement qu'il est difficile de donner des indications bien précises; il peut, toutefois, donner les bases suivantes, en ajoutant que dans la pratique industrielle ces prix peuvent varier et se modifier suivant les applications que l'on a à faire :

Inoxydation simple	2 fr.	80	le mètre carré.
— mate et brillante. . .	4	75	—
— très brillante.	5	60	—
Platinage mat ou brillant.	18	»	—
Dorure mate ou brillante.	15	»	—

Avant de lever la séance, Monsieur le président s'exprime comme suit :

Mes chers Collègues,

Avant de nous séparer pour prendre nos vacances et ne plus nous retrouver que le 1er octobre, je tenais à épuiser toutes les communications portées

depuis longtemps à l'ordre du jour et que nos discussions un peu longues, mais fructueuses sur la question des travaux publics, avaient quelque peu retardées.

J'ai la satisfaction de vous apprendre que *toutes* les communications prêtes jusqu'à ce jour ont été faites à la Société. Toutes celles qui restent encore à la suite de l'ordre du jour de cette séance, sont encore en préparation ou ont été annoncées par leurs auteurs comme ne devant être faites qu'à la rentrée des vacances.

Nos Bulletins de juillet, d'août et de septembre sont en préparation et vous les recevrez en temps voulu, accompagnés des chroniques et comptes rendus que notre secrétaire-rédacteur sait rendre intéressants.

Sous ce rapport donc notre tâche est accomplie.

Dans notre séance du 18 juin, notre trésorier vous a dit que le nombre des membres de la Société s'était augmenté de 155 pendant le 1er semestre de 1880, ce qui portait le nombre total de nos sociétaires à 1725 à la fin du mois de juin.

Depuis lors, le nombre des membres admis et celui des demandes d'admission qui n'ont pu encore vous être soumises, s'est élevé à 46.

Ce nombre est certainement loin de celui de 275 auquel votre président espérait à cette époque pouvoir arriver jusqu'à la fin de l'année, de façon à porter à 2,000 le nombre des membres inscrits au 1er janvier 1881 ; mais il n'en est pas moins vrai que le nombre cumulé des membres admis par vous et des présentations faites au comité dépasse 200, depuis le commencement de cette année.

C'est un résultat considérable pour notre Société qui va se trouver par là, à même de couvrir la plus grande partie du supplément de dépenses occasionné par le Bulletin mensuel.

Pour y arriver complètement et pour donner une plus grande extension à nos publications et les rendre encore plus intéressantes pour l'industrie privée, je prie mes Collègues de continuer à m'aider dans la tâche du recrutement, et je ne puis leur offrir de meilleur exemple à suivre que les efforts faits dans ce sens par nos collègues, MM. Carimantrand, Mallet et Marché, auxquels nous devons une grande partie de nos nouveaux adhérents.

En terminant, j'espère que mes Collègues continueront à montrer jusqu'à la fin de l'année le zèle dont ils ont bien voulu faire preuve jusqu'ici, aussi bien en nous envoyant des communications et des mémoires intéressants qu'en fréquentant assidûment nos séances.

Je profite de la circonstance pour les en remercier au nom de la Société.

CHRONIQUE

SOMMAIRE. — L'accident du tunnel de l'Hudson. — L'Institution of civil Engineers. — Les patentes d'invention en Angleterre. — Écoulement de l'air comprimé en longues conduites métalliques. — La navigation à vapeur sur le Danube. — Élévateur à grains américain. — Les ponts métalliques aux États-Unis.

L'accident du tunnel de l'Hudson. — Nous avons, dans la chronique de mai, donné quelques renseignements sur le tunnel en construction sous l'Hudson, entre New-York et Jersey-City. Le puits d'accès ayant été terminé du côté de Jersey-City, on avait commencé la construction du tunnel proprement dit, qui avait été creusé et complètement muraillé sur une longueur de 90 mètres, puis on avait décidé de terminer le raccordement du puits avec le tunnel au-dessous de l'entrée provisoire. Cette partie du travail était considérée comme dangereuse, parce que, dans le voisinage immédiat de la maçonnerie du puits, le terrain primitif avait été enlevé et remplacé par des matériaux de remplissage plus ou moins poreux et peu serrés, à travers lesquels l'air comprimé pouvait se frayer passage bien plus facilement qu'à travers l'argile primitive. On prenait les plus grandes précautions, et, dès qu'il se manifestait une fuite d'air, on l'arrêtait en projetant une poignée d'argile sur la place, la pression intérieure qui était d'une atmosphère effective refoulait l'argile dans les interstices du terrain et empêchait les fuites. Tout danger semblait passé, lorsque le 21 juillet, à cinq heures du matin, un endroit faible se trouva démasqué, l'air comprimé s'échappa à travers 20 pieds de hauteur de gravier et de matériaux peu consistants; le revêtement en tôle n'étant plus soutenu par la pression intérieure tomba dans la chambre de travail et l'eau et la vase n'étant plus contenues par la pression, se précipitèrent dans le tunnel où 20 hommes furent noyés; 8 autres purent s'échapper par la chambre d'équilibre. On ne suppose pas que le tunnel lui-même ait souffert, mais on ne le saura que lorsqu'on aura pu y pénétrer, toute l'excavation est pleine d'eau et de débris, et il faudra plusieurs jours pour opérer le déblai. On doit signaler, au sujet de cet accident que plusieurs ingénieurs distingués sont peu favorables à l'emploi de l'air comprimé pour le creusement des tunnels.

(*Engineering-News*).

L'Institution of civil Engineers. — La dernière liste de cette Société donne un total de 3,770 membres, savoir : 1,217 membres proprement dits, 1,299 membres associés, 579 associés, 18 membres honoraires

et 657 aspirants. L'année précédente il y avait 3,578 membres, ce qui donne un accroissement de 5 1/2 pour 100. Enfin, depuis la publication de la dernière liste il a été admis 349 membres dont 2 membres honoraires, 43 membres ordinaires, 129 membres associés, 15 associés et 160 aspirants.

Les patentes d'invention en Angleterre. — Notre Collègue, M. Emile Barrault vient de publier un travail intitulé : « Les inventeurs et les lois pour les patentes d'invention dans la Grande-Bretagne, » dans lequel il donne l'ensemble complet des textes de la législation anglaise actuelle (lois et règlements).

On sait que la législation anglaise sur les patentes et inventions a été la première de toutes puisqu'elle date de 1623; elle a été modifiée au fur et à mesure des besoins et elle a donné des résultats industriels si importants, que c'est là ce qui a décidé les autres nations à protéger également les inventeurs. Les premières lois sur les brevets d'invention, après celles d'Angleterre, sont de 1790 pour les États-Unis d'Amérique et de 1791 pour la France.

Le système de protection régulière et légale des inventions et découvertes a été inauguré par le Statut de Jacques Ier, promulgué en 1623 et qui n'a jamais été abrogé; ce système a été modifié d'abord par les actes de 1835 sous Guillaume IV; puis de 1839 et 1844 sous la reine Victoria; enfin, il a été profondément transformé et amélioré par les actes de 1852 et 1853. Mais la loi de 1623 n'en est pas moins la base de la législation actuelle puisqu'elle supprime le droit absolu, que, précédemment, possédait la couronne, d'accorder des privilèges exclusifs *à sa volonté*, aussi bien pour les patentes d'invention que pour autre chose.

En effet, dit M. Barrault, le souverain accordait bien quelquefois un monopole exclusif à une personne, qui, par ses travaux, son industrie ou son génie inventif, avait introduit en Angleterre un nouveau système de fabrication, un procédé ou une machine nouvelle; c'était un moyen de récompense et d'encouragement; mais, le plus souvent, la faveur du roi accordait des privilèges, non à l'inventeur, mais à des favoris, à des exploiteurs, et il les prolongeait outre mesure et les multipliait hors de raison, non seulement en ce qui concernait les inventions, mais pour toutes les industries et pour tous genres d'objets.

L'opinion publique ayant pu se faire entendre par l'intermédiaire des Chambres, Jacques Ier, pour échapper au contrôle du Parlement et pour réserver ce qu'il considérait comme prérogative de la couronne, eut souvent recours à l'annulation directe de certains privilèges trop attaqués, mais cette concession fut insuffisante.

La loi de 1623, promulguée d'accord avec le roi, mit fin à cette institution déplorable des monopoles et privilèges accordés sans contrôle par le seul souverain; ils furent presque tous annulés et abolis comme contraires à l'intérêt social.

A partir de cette date, tout privilège ou monopole ne fut accordé qu'après examen du Parlement ou conformément aux lois du royaume et les patentes d'invention se trouvèrent dans ce dernier cas.

La loi de 1623 établit :

1° Que les patentes seront accordées au premier et véritable inventeur;

2° Qu'elles dureront au plus quatorze ans, à partir de la date des lettres patentes;

3° Qu'elles ne doivent pas être contraires aux lois ou préjudiciables à l'État.

Il était possible d'obtenir de nouvelles lettres patentes pour la même invention, mais par une loi seulement et pourvu que la demande fût faite avant l'expiration des premières; on sait que la patente de Watt, de 1769, pour la machine à vapeur, fut prolongée par les soins et aux frais de Boulton jusques à trente-neuf années.

Pendant deux siècles, la loi de Jacques I[er] suffit et les résultats importants qui en furent la conséquence attirèrent l'attention et l'imitation de la France et des États-Unis; mais l'industrie s'était appliquée à tant d'intérêts nouveaux qu'il fallait des interprétations très délicates de la loi pour donner solution aux difficultés judiciaires. C'est ce qui détermina les lois de 1835, 1839 et 1844.

C'est à l'époque de l'Exposition universelle, en 1851, qu'une loi nouvelle autorisa le dépôt d'une protection provisoire de six mois pour les inventions exposées. Cette loi n'était que transitoire, mais elle eut pour effet de montrer les avantages pratiques des dispositions législatives proposées et dont l'adoption eut lieu ultérieurement en 1852.

Les lois de 1852 et 1853 complétèrent enfin la législation telle qu'elle existe aujourd'hui, en la modifiant très profondément et d'une manière généralement avantageuse; ainsi, elles diminuaient notablement le prix des taxes à payer, et répartissaient le payement de ces taxes en plusieurs périodes successives; elles permettaient à l'inventeur de se protéger dans les Trois-Royaumes par un seul et même titre de patente, supprimant ainsi les difficultés et les frais qui résultaient de la nécessité de prendre trois patentes distinctes en Angleterre, Écosse et Irlande.

L'innovation de la protection provisoire de six mois, avec dépôt de spécification provisoire ou complète, constituait également un des progrès les plus importants apportés par la nouvelle loi de 1852.

Enfin la loi du 14 juillet 1870 a eu pour but d'accorder protection pendant six mois, malgré toute publicité et sans aucun dépôt de demande, aux inventeurs manufacturiers ou commerçants qui, malgré la production de leur invention aux Expositions internationales tenues dans le Royaume-Uni, peuvent cependant réclamer et obtenir une patente valable en Angleterre.

M. Barrault donne un tableau indiquant le nombre des patentes obtenues en Angleterre depuis 1623, jusqu'au 1[er] janvier 1879.

Ce nombre est de 78,155 qui se subdivisent comme suit : de 1623 à 1722, soit 100 ans, 430 patentes; 1723 à 1822, également 100 ans, 4,293; dans la période décennale de 1823 à 1832, 1,610; dans la période décennale suivante, 3,225, et enfin de 1843 à 1852, 4,773. De 1852 à 1878 il y a eu 96,853 demandes de protection provisoire de six mois et 63,824 patentes scellées et payées pour trois années.

Écoulement de l'air comprimé en longues conduites métalliques. — M. de Stockalper, ingénieur, chef de service de l'entreprise du tunnel du Saint-Gothard, a fait sur la conduite d'air comprimé établie pour la perforation des expériences pour l'évaluation de la perte de charge.

Ces expériences sont relatées dans un mémoire publié dans la *Revue universelle des Mines de Liége*, N° de mars-avril 1880.

Pour étudier les conditions d'écoulement de l'air comprimé, les différents facteurs à observer sont :

1° Les longueur, diamètre et nature de la conduite;

2° La vitesse d'écoulement, soit le volume d'air comprimé passant par seconde dans une section donnée;

3° Les pressions de l'air à divers points de la conduite;

4° Les températures de l'air dans la conduite.

1° La conduite soumise aux expériences se composait d'une conduite de $0^m,20$ de diamètre en fonte avec joints en caoutchouc de 4,600 mètres de longueur et d'une conduite de même nature de $0^m,15$ de diamètre et de 522 mètres de longueur;

2° La vitesse ou le volume de l'air étaient mesurés en se servant des compresseurs, système Colladon, dont le rendement en volume avait été déterminé par des expériences préalables.

3° Les pressions étaient observées à l'aide de manomètres Bourdon donnant les dixièmes d'atmosphère et corrigés par comparaison avec un manomètre étalon;

4° Les températures étaient mesurées au moyen de thermomètres disposés de façon à plonger dans l'intérieur de la conduite et corrigés pour tenir compte de la pression qui s'exerce sur l'enveloppe du thermomètre.

Les manomètres étaient disposés en huit points différents de la conduite de 5,100 mètres et observés de 10 en 10 minutes.

M. de Stockalper conclut de ses expériences que la perte de charge pour les conduites d'air peut s'exprimer, comme pour les conduites d'eau, par l'expression $J = \alpha_1 Q^2 \delta$, et que, pour la pratique industrielle, le coefficient α est le même pour l'air que pour l'eau. α étant le coefficient indiqué dans les tables de Darcy, on fait $\alpha_1 = \frac{\alpha}{1000}$.

Donc, pour calculer les pertes de charge d'une conduite d'air, il suffit d'évaluer la perte de charge en supposant que ce soit une conduite d'eau à la même vitesse, et de réduire la perte de charge trouvée dans le rapport de la densité de l'air comprimé à celle de l'eau.

M. de Stockalper compare les résultats obtenus dans ses expériences avec ceux que donneraient les principales formules employées.

Ces formules sont de la forme :

$$p_1 - p_2 = \varphi \frac{l}{D} \delta \frac{u^2}{2g},$$

dans laquelle φ a pour valeur, d'après d'Aubuisson :

$$0,024;$$

d'après Weissbach :

$$\frac{0,12}{\sqrt{u}},$$

ou

$$p_1 - p_2 = \frac{u^2}{2g} \delta \left(1 \pm 0,0252 \frac{l}{D}\right),$$

d'après Morin; et, enfin :

$$p_1 - p_2 = \frac{4l}{D} \delta (au + bu^2),$$

d'après M. Arson.

M. de Stockalper trouve par cette comparaison :

1° Que les pertes de charge calculées par ces diverses formules sont toutes plus fortes que celles observées par lui;

2° Que le coefficient de Morin est vraisemblablement basé sur les expériences de d'Aubuisson, Girard et Pecqueur;

3° Que Weissbach indique des pertes de charge trop fortes surtout pour les petites vitesses;

4° Que quoique les coefficients de M. Arson aient été établis au moyen d'expériences faites avec la plus grande précision possible, ils conduisent à des pertes de charge trop fortes pour les conditions observées;

5° Enfin, que la formule proposée par l'auteur, avec l'application des coefficients de Darcy pour l'eau, donne des résultats tout à fait satisfaisants.

Ces expériences confirment les résultats énoncés, dès 1852, par M. Colladon, en ce sens que les pertes de charge ne sont que les deux tiers de celles que l'on déduit des formules de Girard et d'Aubuisson, elles ne sont que la moitié de celles trouvées par la formule de M. Arson.

Les anciennes méthodes de calcul donnaient lieu à des objections contre le transport de l'air comprimé à grande distance. Dans un discours prononcé au Parlement sarde, en 1857, discours qui décida la Chambre à voter le percement du mont Cenis, le général Menabrea disait : L'honneur d'avoir émis le premier une idée rationnelle revient à M. Colladon, savant professeur physicien de Genève, qui proposait de faire agir les outils de la machine Mauss, non plus au moyen de cordes et de poulies, mais en employant de l'air comprimé. Il ajoutait : Des expériences, faites spécialement

par M. Colladon, ont également prouvé que l'air subit dans les tubes de conduite une résistance beaucoup moindre que ne le supposaient quelques auteurs, ce qui avait donné lieu de douter que l'air comprimé pût être conduit à de grandes distances en conservant assez de sa force élastique. M. Colladon annonçait que les coefficients de résistance adoptés jusqu'alors pour le mouvement des gaz dans les conduites nettes à l'intérieur étaient trop forts et devaient être réduits de moitié, à fort peu près.

(*Revue universelle des mines de Liége.*)

La navigation à vapeur sur le Danube. — La Compagnie des bateaux à vapeur du Danube est probablement la plus puissante Compagnie de navigation fluviale qui existe. A la fin de 1878, elle possédait 165 bateaux à roues d'une force collective de 15,919 chevaux, 18 remorqueurs à hélice de 620 chevaux en tout; plus 12 autres bateaux à vapeur et 770 bateaux de transport.

Les autres sociétés concurrentes sur le Danube ne possèdent en tout que 89 bateaux à vapeur. (*Engineering*).

Elévateur à grains américain. — On vient de construire à Jersey-City, un nouvel élévateur à grains pour le chemin de fer de New-York au lac Erié. La fondation de l'édifice se compose de 6,000 pieux de 20 à 22 mètres de longueur, battus aussi près que possible les uns des autres et recepés à 1^{m},20 sous l'eau; sur ces pieux repose un grillage de 0^{m},60 d'épaisseur, c'est cette plate-forme qui porte les 240 piliers en maçonnerie de 4^{m},25 de hauteur, 2^{m},25 de côté à la base et 1 mètre de côté à la partie supérieure, qui soutiennent le bâtiment proprement dit. Celui-ci a 108 mètres de longueur, 27 de largeur et 47 mètres de hauteur, il est divisé en 510 compartiments, d'une capacité totale de 510,000 hectolitres.

La charpente est en fer et la couverture en tôle ondulée. L'édifice contient vingt élévateurs qui prennent le grain dans les wagons et le versent dans les navires qui accostent le bâtiment. La force motrice est donnée par deux machines à vapeur de 600 chevaux chacune. (*Engineering*).

Les ponts métalliques aux États-Unis. — L'absence de surveillance officielle et le peu de prix attaché à la vie et à la sûreté des personnes sont les causes principales des accidents de ponts si fréquents aux États-Unis. Les ponts et viaducs en fer, pour routes ou chemins de fer, y sont très nombreux et il n'y a aucun contrôle de l'autorité avant leur ouverture à la circulation, pas plus du reste que de méthode générale pour les éprouver. Il n'est pas contestable qu'il y ait aux États-Unis des ingénieurs aussi capables et aussi instruits que n'importe où, mais malheureusement il y a à côté, des spéculateurs sans la moindre connaissance professionnelle, qui, à la faveur de la grande demande, établissent des ateliers à bon marché et avec des matériaux à bas prix, confectionnent comme objets de commerce des ponts de dernière qualité. Aussi, il ne se passe pas d'année sans qu'il ne tombe une de ces trappes, comme on les appelle, avec plus ou moins grande perte de

vies humaines. On peut estimer que depuis dix ans il n'est pas tombé, aux État-Unis, moins de deux cents ponts de routes, pour cause de construction vicieuse ou d'emploi de matériaux inférieurs.

La chute du pont d'Ashtabula, sur le Lakeshore Railway, a fait autant de victimes que celle du pont de la Tay; ce pont est tombé au passage d'un train de voyageurs et il y a eu quatre-vingts à cent personnes tuées.

Un Comité de la législature de l'Ohio s'est occupé de l'affaire et on a trouvé que l'accident, arrivé dans des conditions absolument normales, était dû à des défauts de construction qu'un examen un peu attentif aurait fait facilement reconnaître.

En novembre dernier, une travée entière d'un pont sur le Missouri tomba au passage d'un train de marchandises; deux serre-freins et deux autres personnes furent tués. Mais l'accident attira si peu l'attention que les journaux n'en parlèrent même pas. La Société américaine des Ingénieurs civils s'est occupée de cette question, bien qu'il ne paraisse pas avoir encore été formulé de conclusion; la proposition faite par le Comité de la législature de l'Ohio d'avoir pour chaque État un inspecteur des ponts chargé de la surveillance et du contrôle de ces ouvrages, serait une garantie sérieuse pour la sécurité du public, mais en présence de l'indifférence générale pour cette question, la proposition a peu de chances d'être adoptée[1]. (*Iron*).

COMPTES RENDUS

ACADÉMIE DES SCIENCES.

Séance du 26 juin 1880.

Note de M. Lodin sur les causes d'altération intérieure des chaudières à vapeur.

L'auteur s'est proposé de faire une évaluation approximative des diverses actions oxydantes capables d'agir sur les tôles, en opérant sur des fils de fer enfermés dans des tubes scellés à la lampe et contenant de l'eau pure ou diverses dissolutions salines, qu'on peut porter à des températures plus ou moins élevées.

1. Il est curieux de rapprocher cette critique, d'origine anglaise et qui paraît empreinte d'une certaine exagération, des opinions américaines formulées sur le même sujet, page 220 ci-après.

Avec l'eau ordinaire, l'action prédominante est celle de l'oxygène dissous; l'absorption de ce gaz par le fer s'exerce à raison de 0,18 grammes à la température de 20° et de 1,65 grammes à 100 degrés par mètre carré de surface, et par heure pour l'eau pure, et de 0,23 et 1,80 aux mêmes températures pour l'eau calcaire.

La décomposition de l'eau par le fer a moins d'importance. Elle donne lieu à la température de 125 degrés à une absorption d'oxygène de 0,007 gramme par mètre carré et par heure pour l'eau pure, 0,009 pour l'eau calcaire, 0,047 avec l'eau de mer, 0,035 avec de l'eau saturée de chlorure de sodium, et 0,127 avec de l'eau contenant 20 pour cent de chlorure de magnésium cristallisé; cette action est donc à peu près négligeable en pratique.

M. Lodin examine la question des désincrustants; le zinc agit comme corps réducteur capable d'empêcher l'oxydation; ainsi le fer enfermé dans un tube scellé à la lampe, avec du zinc et de l'eau, conserve son poli au-dessus de 100 degrés, tandis que sans le zinc il se recouvre rapidement d'oxyde.

Le bois de campêche agit par l'hématoxyline; cette substance absorbe l'oxygène en présence de l'eau au-dessus de 100 degrés; après la réaction, le liquide contient en suspension une matière d'un violet noirâtre qui renferme du fer. Avec la fécule de pomme de terre, on obtient aussi un produit noir qui contient du fer; ces substances n'agissent donc pas comme réducteurs, mais les composés qu'elles forment avec les sels contenus dans l'eau n'ont pas d'adhérence sur la tôle et permettent une séparation facile des dépôts.

SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

JUIN 1880.

Rapport fait par M. Lavollée sur les vœux des agriculteurs du Nord demandant la diminution de l'impôt sur les sucres.

Ce rapport indique qu'en France la consommation de sucre est de 7.5 kilogrammes par habitant et par an, tandis qu'en Angleterre elle s'élève à 30 kilogrammes; le sucre ne doit plus être considéré comme une denrée de luxe, il tend à devenir un produit nécessaire qui doit être mis à la portée de toutes les classes. Or, aucun produit ne paye de taxes aussi élevées. Les droits aux tarifs actuels équivalent à cent pour cent de la valeur, le kilogramme de sucre raffiné vendu 1 fr. 60 payant au fisc 73 1/2 centimes.

L'exemple de l'Angleterre montre la puissance d'extension de la consom-

mation avec l'abaissement des droits; en 1844 avec un droit de 60 francs, la consommation était de 16 3/4 livres par habitant; en 1859, avec 35 francs, 35 livres; en 1869, à la suite d'un nouveau dégrèvement, la consommation s'est élevée à 44 livres, et en 1878, après dégrèvement complet, elle a atteint 60 1/2 livres.

Le conseil de la Société d'Encouragement émet le vœu que la taxe de consommation sur le sucre soit abaissée à 25 francs et que cette réduction soit immédiate[1].

Rapport de M. F. Le Blanc sur l'appareil de M. Orsat pour l'analyse industrielle des gaz.

Ce rapport indique quelques modifications dans cet appareil bien connu qui a été décrit dans les *Bulletins de la Société des Ingénieurs civils* de 1873, page 218.

Rapport de M. F. Le Blanc sur un appareil destiné à la détermination rapide du grisou dans l'atmosphère des mines, par M. Coquillon.

La mesure du mélange d'air et de grisou se fait sous l'eau dans un tube gradué rétréci dans la partie destinée à la lecture. Le mécanisme de déplacement des gaz est analogue à celui de l'appareil Orsat.

Un fil de palladium rendu incandescent par le courant d'une petite pile détermine la combustion du gaz hydrogène protocarboné aux dépens de l'oxygène de l'air, on sait que l'hydrogène protocarboné exige pour sa combustion complète le double de son volume d'oxygène et forme un volume d'acide carbonique égal au sien; il en résulte que la moitié de la diminution donne le volume du grisou.

Sur des becs de gaz donnant une lumière d'une grande intensité, par M. P. Berard. La description de ces becs a été donnée dans la Chronique de février, pages 312 et 313.

Sur un livre de M. Ronna, intitulé : « Le Blé aux États-Unis d'Amérique » par M. Risler.

Cet ouvrage traite des conditions où le blé est produit aux États-Unis.

Cette culture, introduite au XVII[e] siècle par les colons Européens, s'est développée d'abord très lentement; en 1850 la production n'était encore que de 1.5 hectolitre par habitant; en 1860, 2 hectolitres; en 1870, 3; elle est en ce moment de 3.5; la cause de cet accroissement rapide de production est le développement des chemins de fer; on a, en moins de vingt ans, construit 60,000 kilomètres dans les États de l'Ouest. Les Compagnies de chemins de fer ont fait de grands efforts pour attirer les colons, dans les régions où pénètrent les nouvelles lignes; elles leur revendent les terres qui leur sont données à titre de subvention par les États; les prix qui étaient d'abord de 16 francs l'hectare se sont élevés à 200 et 300 francs.

1. On sait que le dégrèvement a été voté par les Chambres et doit recevoir son exécution sous peu.

Les Compagnies accordent de longs délais de payement, elles fournissent aux colons des maisons en bois à des prix modérés et leur donnent de grandes facilités pour le transport de leurs produits.

Il y a des exploitations agricoles de dimensions énormes. On cite dans le Minnesota une ferme de 30,000 hectares. On y a fait en 1879 la récolte du blé sur 8,000 hectares, à raison de 18 hectolitres par hectare, le prix de revient a été de 6 francs l'hectolitre et le bénéfice de 4 francs pour un prix de vente de 10 francs, le produit net a donc été de $8,000 \times 18 \times 4 = 576,000$ fr. Au prix de revient de 10 francs sur place, il faut ajouter 10 francs pour amener le blé en Europe, ce qui le met à 20 francs; on peut en conclure que l'exportation des blés américains en France n'est possible que si les blés français reviennent à plus de 20 francs l'hectolitre.

Conférence de M. Clémandot sur le verre à l'Exposition universelle de 1878.

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES.

JUILLET 1880.

Restauration des fondations du bâtiment des subsistances de la marine à Cherbourg, par M. CLAVENAD, ingénieur des ponts et chaussées. — Les fondations du bâtiment des subsistances du port de Cherbourg avaient été altérées par la *limnoria terebrans* dans les conditions suivantes :

La limnoria terebrans est un petit crustacé dont la longueur atteint 4 millimètres, les eaux vaseuses ne la détruisent pas comme le taret; elle n'attaque les bois que pendant les mois chauds de l'année et n'y pénètre que pour se faire un nid où elle puisse reproduire. La limnoria s'attache sur les corps flottants, on en trouve par exemple sur les bouées de la rade de Cherbourg, elle peut aller chercher le bois à travers des remblais compacts de 25 mètres d'épaisseur; son attaque pour les constructions immergées paraît cesser à la cote du niveau moyen des hautes mers de morte eau, c'est donc entre cette cote et celle de $0^m,50$ que l'on devra redouter la destruction des bois.

Le bâtiment des subsistances était fondé sur des pilotis descendus jusqu'au rocher et noyés dans le béton; des traverses et un double plancher en sapin portaient la maçonnerie de la fondation. Des sources, qui s'étaient établies dans le béton, avaient livré passage aux limnoria qui avaient

attaqué et détruit les bois sur une longueur de 60 mètres, le quart de la longueur totale du bâtiment; il n'y avait plus trace de plancher, les traverses étaient attaquées et la construction était descendue de $0^m,32$ dans sa partie est.

On décida de reprendre les fondations en sous-œuvre. Les pieux n'étant pas attaqués au-dessous du niveau des basses mers de vive eau, il fallait les couper au-dessous de cette cote et supprimer le bois dans l'intervalle compris entre la tête des pieux et la partie inférieure des anciennes maçonneries. L'épuisement étant opéré, on a mis à découvert le plancher et les traverses, le bâtiment étant convenablement soutenu au moyen de puissants vérins, on a recepé les pieux et on a remplacé les bois dans la partie dangereuse par de la maçonnerie composée de blocs faits d'avance et dont certains avaient $1^m,50$ et plus de longueur. Grâce à de grandes précautions et à une surveillance incessante, le travail a pu être mené à bien sans aucun accident.

L'épuisement était opéré au moyen de trois fortes locomobiles Compound, pouvant chacune développer jusqu'à 100 chevaux et commandant par courroies des turbines aspirant l'eau et la refoulant à 9 mètres de hauteur; chaque turbine pouvait débiter 400 litres par seconde.

L'expérience a établi qu'il y a avantage :

1° A diminuer la hauteur d'aspiration pour augmenter celle de refoulement, c'est-à-dire à mettre les turbines le plus bas possible;

2° A créer un refoulement artificiel en terminant l'extrémité supérieure du tuyau par une sorte de réservoir par les bords duquel l'eau s'écoule; cette disposition rend la mise en train plus facile.

Les rendements observés ont été les suivants :

Orifice à découvert.

Rendement des appareils d'épuisement.	$0^m,319$
Rendement propre des turbines.	$0^m,443$

Orifice noyé.

Rendement des appareils d'épuisement	$0^m,411$
Rendement propre de la turbine.	$0^m,570$

Réparation du radier de l'écluse Duquesne, à Dieppe, par M. Alexandre, ingénieur des ponts et chaussées. — L'écluse du bassin Duquesne, à Dieppe, a $16^m,50$ de largeur, son seuil est à la cote de $1^m,62$ par rapport au zéro des cartes; cette écluse donnait lieu à des déperditions considérables, et les grands navires échouaient d'une manière à peu près continue dans le bassin Duquesne qui, dès lors, n'était plus que de nom un bassin à flot.

La déperdition d'eau tenait à la fois à la détérioration des portes dont les bois étaient rongés par les vers marins, et au mauvais état du busc dont la

pierre même était endommagée. Il fallait faire la réparation sans intercepter le passage des navires et sans arrêter le service de l'écluse.

On décida de faire un batardeau composé d'une partie fixe et d'une partie mobile. La première se composait de deux caissons appuyés contre les bajoyers de l'écluse et formant en quelque sorte les culées d'un pertuis pouvant être fermé par des poutrelles qui constituaient la partie mobile; ces poutrelles étaient elles-mêmes recouvertes en avant d'une toile à voile de 3 mètres de hauteur et 12 mètres de large, garnie sur son bord inférieur d'une chaîne servant de lest. L'épuisement était opéré au moyen d'une pompe centrifuge débitant 6 à 7 mètres cubes à la minute et mue par une locomobile de 14 chevaux.

Le batardeau mobile était mis en place une heure avant la basse mer en grande vive eau et une demi-heure en vive eau moyenne; la mise en place exigeait 15 à 20 minutes, et l'épuisement 10 minutes, de sorte qu'on pouvait commencer le travail au bout d'une demi-heure. Le travail durait une heure et demie en moyenne. Il a exigé 120 marées dont 70 pour la mise en place et l'enlèvement des installations et 50 pour le travail proprement dit. Aucun navire n'a éprouvé de retard pour entrer ou sortir et il n'y a pas eu le moindre accident.

La dépense a été de 18,000 francs.

Tableaux graphiques pour le calcul des ressorts, par M. Levy-Lambert, élève externe de l'école des ponts et chaussées. — Ces tableaux servent à calculer les ressorts au moyen des formules de M. Philipps par l'application des méthodes d'anamorphose de M. Léon Lalanne, inspecteur général des ponts et chaussées.

AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS

JUIN 1880.

Discours annuel du Président. — M. Chanute, vice-président, chargé de ce discours en l'absence du Président, passe en revue les différentes branches de l'art de l'Ingénieur et leurs progrès successifs aux États-Unis.

Distributions d'eau. — La première distribution d'eau fut établie en 1754, à Bethlehem, en Pensylvanie, par un Danois nommé Christiansen, qui établit une pompe en gayac avec des tuyaux en bois et un réservoir de même matière ; huit ans plus tard il remplaça cette grossière machine par

trois pompes en fer qui fonctionnèrent pendant soixante-dix ans. On peut citer ensuite la Compagnie des eaux de Morristown, New-Jersey, établie en 1791 et qui existe encore.

La première machine élevatoire à vapeur fut montée à Philadelphie en 1800. C'était la troisième machine à vapeur aux États-Unis.

Les premiers tuyaux en fonte furent fondus à Philadelphie en 1804.

Aujourd'hui, deux maisons qui se sont fait une spécialité de la construction des machines élévatoires, en ont établi 242 dans 168 villes. Ces machines auraient une puissance collective d'élévation de 2,800,000 mètres cubes par jour.

Il y a actuellement aux États-Unis et au Canada 569 villes pourvues de distributions d'eau, dont la population est de 12 millions d'habitants, auxquels on fournit par jour plus de deux milliards de litres d'eau au moyen de 20,000 kilomètres de tuyaux dont 16,000 en fonte.

La moitié de ces villes reçoit en tout ou en partie l'eau d'un point supérieur par écoulement naturel.

Science de l'hydraulique. — Le discours apprécie les expériences et les recherches faites dans cette voie par les ingénieurs américains, expériences dont quelques-unes ont été faites sur une échelle inconnue en Europe. On peut citer les noms d'Ellet, Humphreys, Abbot et Ellis comme ceux d'hommes qui ont fait avancer considérablement cette partie de la science.

Canaux. — Il a été exécuté aux États-Unis 7,800 kilomètres de canaux, dont 500 kilomètres sont aujourd'hui abandonnés. L'emploi de la vapeur n'est pas encore passé dans la pratique courante pour la traction sur les canaux. Le touage par câble a été installé sur 150 kilomètres du canal de l'Erié entre Buffalo et Rochester. Ce système donne de bons résultats, mais il a encore besoin de perfectionnements.

Il est question d'établir au canal de l'Erié un halage par locomotives roulant sur une voie ferrée latérale. On estime que l'on abaisserait ainsi à 40 pour 100 les dépenses de traction, avec une augmentation notable de vitesse.

Chemins de fer. — Il y avait à la fin de 1879, aux États-Unis, 137,500 kilomètres de chemins de fer, dont 7,500 à voie étroite. La longueur construite en 1879 a été de 6,850 kilomètres.

La longueur des chemins de fer du monde peut être évaluée approximativement comme suit :

Europe.	157,500	47 pour 100
États-Unis.	137,500	41 —
Autres parties du monde. . . .	40,000	12 —
Total.	335,000 kilomètres.	

Les 50 millions d'habitants des États-Unis ont donc 137,500 kilomètres

de chemin de fer, tandis que les 306 millions d'Européens n'en ont guère plus et le milliard d'habitants du reste de la terre, 40,000 kilomètres seulement.

La longueur des voies des chemins de fer des États-Unis représente 160,000 kilomètres, soit quatre fois le tour de la terre.

Le matériel roulant comprend 16,445 locomotives, 116,830 voitures à voyageurs, 4,413 fourgons, wagons-poste et véhicules pour trains rapides et 423,013 wagons à marchandises.

Le capital engagé s'élève à 24 milliards de francs en nombre rond, ce qui représente un prix moyen de 185,000 francs par kilomètre.

Les recettes brutes sont de 19,000 francs par kilomètre sur l'ensemble et les dépenses de 61,79 des recettes brutes ; le produit net représente 3,932 pour 100 du capital nominal.

Le matériel roulant est approprié aux conditions d'établissement des lignes.

Autrefois on calculait l'adhérence et l'effort de traction au 1/14 de la charge des essieux moteurs. A l'étranger on compte généralement sur 1/7, tandis que dans les types américains les plus récents, le type *consolidation*, on ne craint pas de compter normalement sur 1/5 en hiver et 1/4.5 en été et d'aller à l'occasion à 1/3 et même au-dessous.

Si donc une machine a une charge de 36 tonnes sur les roues motrices, avec l'adhérence à 1/7 elle pourra exercer un effort de traction de 5,140 kilogrammes, tandis qu'avec l'adhérence à 1/4,5 elle pourra exercer un effort de 8,000 kilogrammes, soit 50 pour 100 en plus.

Non seulement les machines américaines traînent plus que les machines européennes à poids égal, mais elles font plus de parcours ; le parcours kilométrique annuel des locomotives (en tête de trains) est, d'après les statistiques de Sturmer, pour 1875, de 25,309 kilomètres pour l'ensemble des chemins de fer européens et de 35,259 pour les États-Unis.

Les caractères essentiels des locomotives américaines sont l'emploi de l'avant-train articulé et celui des balanciers de répartition de la charge entre les essieux accouplés. Ces dispositions facilitent la marche des machines et permettent l'emploi de courbes de petit rayon et d'inclinaisons qui expliquent le bon marché relatif de la construction des chemins de fer.

Toutefois il faut reconnaître que la pratique européenne présente bien des points que les ingénieurs américains pourraient lui emprunter utilement, surtout en ce qui concerne la construction des chaudières, l'économie du combustible, la meilleure proportion des surfaces de chauffe, etc.

La disposition des trucks articulés sous les véhicules permet le passage des courbes même de 30 mètres de rayon, et la résistance avec des boîtes graissées à l'huile minérale a été abaissée à 1^{kg},80 et 2^{kg},25 (4 à 5 livres) par tonne en palier, alignement droit et faible vitesse, soit à la moitié des coefficients qu'on trouve dans les livres.

Jusqu'ici le poids mort des véhicules américains était beaucoup plus élevé que celui des wagons européens; on a récemment amélioré cet état de choses. Les derniers wagons du Pensylvania Railroad portent 18 tonnes et pèsent 10 tonnes pour les wagons fermés et 8,600 kilogrammes pour les wagons ouverts.

Un double progrès à réaliser est l'usage des châssis en fer et l'emploi des wagons plates-formes; on peut y ajouter l'emploi des moyens mécaniques pour la manutention dans les gares.

Au point de vue de la sécurité, les freins sont bien installés; mais il y a encore beaucoup à faire pour les signaux.

Les tarifs américains sont généralement très bas; on sait que les tarifs anglais les plus bas sont pour le trafic dit *minéral*. Ce prix est d'environ 3 centimes par kilomètre, tandis que le tarif courant entre Chicago et New-York pour les grains, farines, porc salé, etc., est de 2 centimes, et la concurrence a quelquefois fait descendre ce prix à deux tiers de centime.

Il y a eu exagération dans la réduction des tarifs. Cette réduction a été de 56 pour 100 dans l'État de New-York et de 45 pour 100 dans le Massachussets, entre 1868 et 1877. Il paraît nécessaire de l'arrêter au moins pour un temps.

En résumé, avec la main-d'œuvre coûtant de 30 à 50 pour 100 de plus qu'en Europe, l'Américain construit des chemins de fer à beaucoup meilleur marché et transporte à des prix inférieurs à ceux de tous les autres pays.

Chemins de fer dans les villes. — Il y a aux États-Unis 5,600 kilomètres de tramways à traction de chevaux; on fait de divers côtés des essais pour l'emploi de la traction par machines. Les chemins de fer aériens de New-Vork ont donné une solution pour le transport rapide dans les villes, mais ils ont coûté un million par kilomètre; un abaissement du prix d'établissement en propagerait l'emploi dans les autres villes américaines.

Ponts. — Il y a aux États-Unis environ 1,450 kilomètres de ponts pour chemins de fer dont un tiers en fer ou en pierre, et les deux tiers en bois, qui constituent des constructions provisoires qu'il faudra remplacer. On ne fait plus guère actuellement que des ponts en fer. Le caractère essentiel de la construction américaine est l'emploi de pièces articulées au moyen de broches, par opposition aux assemblages par rivets employés en Europe.

Un avantage capital de ce système est la rapidité du montage. On peut, pour ainsi dire, assembler complètement un pont entre le lever et le coucher du soleil.

L'emploi des assemblages par rivets n'est point toutefois inconnu en Amérique. On y a exécuté de très beaux ponts dans ce système.

Le point faible des ponts américains est le plancher. Il faut éviter, autant que possible, l'emploi du bois.

L'acier commence à être employé pour les ponts. On peut citer ceux de Saint-Louis, de Glasgow, le pont de la rivière de l'Est de 258 mètres de portée, et le pont de Plattsmouth.

On peut croire que les qualités et le bon marché relatif du système américain seront appréciés bientôt à l'étranger. On l'emploie déjà au Canada et dans l'Amérique du Sud. On peut espérer le voir pénétrer en Europe et en Asie.

Conservation des bois. — Cette question présente un intérêt pour le pays où le bois tend à devenir plus rare, mais il a été très peu fait jusqu'ici dans cet ordre d'idées.

Amélioration des rivières. — On s'est jusqu'ici peu occupé de cette question. On peut citer cependant les magnifiques travaux du capitaine Eads, qui, de la plus petite passe du Mississipi, n'ayant que 2 mètres d'eau sur sa barre, a fait en quatre ans la meilleure communication du fleuve à la mer avec une profondeur d'eau de 10 mètres. Ce travail n'a coûté que 27 millions de francs, alors qu'un canal pouvant donner passage aux grands navires eût coûté le double. On doit conseiller aux Ingénieurs américains l'étude des travaux faits en France pour la régularisation des voies d'eau naturelles et surtout celle des barrages mobiles.

Un des travaux les plus remarquables faits dans ces dernières années est l'enlèvement de la roche du Hell-Gate, dans le port de New-York. On sait que le général Newton, chargé de ce travail, a fait un puits de 15 mètres pour pénétrer dans la roche, l'a sillonnée de 2,665 mètres de galeries, et au moyen de 4,427 trous forés dans les piliers et le toit et chargés de 22,000 kilogrammes d'explosifs divers, l'a fait sauter le 24 septembre 1876. Les débris sont estimés avoir donné un volume de 45,000 mètres cubes. On est en train de les enlever au moyen de grappins, à 8 mètres audessous des basses mers.

Le général Newton exécute en ce moment un travail semblable sur la roche appelée le Flood-Rock, dans le voisinage de la précédente.

Au 1er mai 1880, il avait déjà percé 1,500 mètres de galerie et enlevé 14,000 mètres cubes de déblai ; les trous de mine sont forés avec des perforatrices mues par l'air comprimé.

Éclairage des côtes. — Il y avait, à la fin de juin 1879, 626 phares, 36 feux de rivière, 3,114 bouées de position, 56 signaux de brume à air ou à vapeur, et 31 feux flottants.

Il est intéressant de rappeler qu'à la fin de 1878, l'Angleterre avait 597 phares et la France 346.

CONSTRUCTIONS MARITIMES. — La marine marchande des États-Unis comptait, en 1879, 168 vapeurs jaugeant, 156,323 tonneaux et 2,549 navires à voiles de 1,335,210 tonneaux. Dans la même année le commerce avec l'étranger a donné lieu, dans les ports des États-Unis, à un mouvement de 3,049,743 tonneaux de navires américains contre 10,718,394 tonneaux de navires étrangers soit 3 1/2 fois autant.

On peut attribuer cette infériorité à l'avantage retiré par les étrangers de l'emploi plus étendu de navires à vapeurs, de machines Compound et de coques en fer.

Dans les cinq dernières années, il n'a été construit dans le pays que 97,872 tonneaux de navires en fer alors que dans la même période, la Grande-Bretagne en faisait 1,927,710.

Il y a là une question qui doit attirer l'attention et un champ fécond à exploiter pour les constructeurs et les métallurgistes.

La navigation intérieure et le cabotage le long des côtes comptaient, en 1879, 2,678,000 tonneaux dont 1,019,000 de bateaux à vapeur.

Il y a sur les lacs 868 bateaux à vapeur, 170 barques et 548 bateaux de canaux. Sur les rivières de l'Atlantique, 2,067 bateaux à vapeur, 764 barques et 658 bateaux de canaux, sur les rivières du Pacifique 267 vapeurs et 87 bateaux, enfin sur les rivières de l'Ouest, 1,199 vapeurs et 1,373 barques.

Télégraphes. — Les États-Unis avaient, au 1er janvier 1880, 192,000 kilomètres de ligne. Une seule compagnie, l'Union de l'Ouest, avait en juin 1879, 8,534 bureaux et transmettait en 1878, 25 millions de dépêches.

Le téléphone s'est répandu si rapidement qu'on peut compter en ce moment 121,000 appareils fonctionnant.

L'électricité a été également employée à une foule d'usages privés ou publics, tels que les avertisseurs contre l'incendie, contre les voleurs, les sonneries intérieures, etc.

Éclairage au gaz. — En 1850, les États-Unis ne comptaient que 50 compagnies d'éclairage au gaz; il y en a actuellement 900 avec un capital de plus d'un milliard de francs. Elles produisent annuellement environ 270 millions de mètres cubes et traitent 2 millions de tonnes de charbon. On commence à employer le gaz à l'eau carburé avec du pétrole. Le gaz est encore cher aux États-Unis, ce qui tient à ce qu'on n'utilise pas les résidus de la fabrication aussi bien qu'on le fait à l'étranger.

Mines et Métallurgie. — En 1721, il y avait aux États-Unis 6 hauts fourneaux et 19 forges; il y a aujourd'hui 228 hauts fourneaux à l'anthracite, 203 au charbon bitumineux et 266 au bois, soit 697 hauts fourneaux produisant annuellement 6,500,000 tonnes de fonte.

L'Amérique du Nord occupe le second rang pour la production du fer, elle est placée entre l'Angleterre et l'Allemagne.

Pour l'acier les États-Unis sont également au second rang, mais ils passeront prochainement au premier. Il y a actuellement 11 aciéries Bessemer avec 22 convertisseurs pouvant produire 1,250,000 tonnes par an, deux nouvelles aciéries avec 10 convertisseurs porteront la production à 1,750,000. Cette production étant faite toute en rails, permettrait de poser ou de renouveler 28,000 kilomètres de chemins de fer par an.

Les 22 convertisseurs fonctionnant actuellement représentent une capacité

de 141,5 tonnes, de sorte que la production de 1,250,000 tonnes représente une moyenne de 13.38 opérations par jour et par convertisseur pour 300 jours par an.

Mais la moyenne des opérations des convertisseurs en marche est de 25 par jour, et on a même atteint un maximum de 58. Ces résultats sont bien supérieurs à ceux qu'on obtient à l'étranger.

On peut citer dans la production sidérurgique pour 1879, 3,070,000 tonnes de fonte dont 13,931 de spiegel-eisen, 2 millions de tonnes de fers laminés de toute espèce, 420,000 tonnes de rails en fer, 683,000 de rails Bessemer, la production des rails de toute espèce s'élevant à 1,113,000 tonnes, 928,000 tonnes de lingots Bessemer, 56,000 tonnes d'acier fondu au creuset.

La production des métaux précieux a été, en or, depuis 1849, de 7 1/2 milliards de francs, et en argent, depuis 1858, de deux milliards; sur ce dernier chiffre le district du Comstock a produit près de la moitié; on y a pratiqué des puits de plus de 900 mètres de profondeur, la température s'y élève à 50 et même 55 degrés centigrades. On combat cette température avec un système de ventilation à l'air sec.

Le pétrole dont on a extrait, en 1879, 19,700,000 barils valant sur place 85 millions de francs, de 11,960 puits dont 3 mille creusés dans cette année, a amené une révolution dans les méthodes de forage. On perce actuellement un trou de 0,125 de diamètre et 300 mètres de profondeur en 25 jours, à un prix qui ne dépasse pas 22,000 francs. Certains de ces puits, au lieu de liquide, donnent du gaz naturel, qu'on emploie au chauffage de fourneaux ou de machines. On peut également citer la ville de Fredonia, dans l'État de New-York, qui est éclairée au gaz naturel.

Machines agricoles. — L'amélioration des outils agricoles est une question de premier ordre; pour ne citer que la charrue il peut y avoir plus de 50 pour 100 de différence entre le travail nécessaire avec une charrue et celui que demandera une autre; on peut estimer à deux cents millions l'économie annuelle réalisée sur le coût du labourage par les perfectionnements faits depuis vingt-cinq ans.

L'emploi du cultivateur mécanique au lieu de la charrue a amené une économie de 0 fr., 75 par hectolitre, ce qui, pour la récolte de 1877, représenterait 300 millions.

On peut voir sur la ligne du Nord-Pacifique un champ de blé de 2,800 hectares, exploité entièrement à la mécanique, il produit 50,000 hectolitres de blé à un prix qui ne dépasse pas 3 fr. 75 l'hectolitre.

On ne saurait, à propos de l'agriculture, laisser de côté la question de l'immigration. Celle-ci avait diminué dans les dernières années, mais elle a repris; il est arrivé en mars 1880, 21,000 émigrants et en avril 35,000 par le seul port de New-York. L'arrivée de chaque émigrant représente pour le pays un accroissement de ressources qu'on peut estimer à une valeur de 5,000 francs.

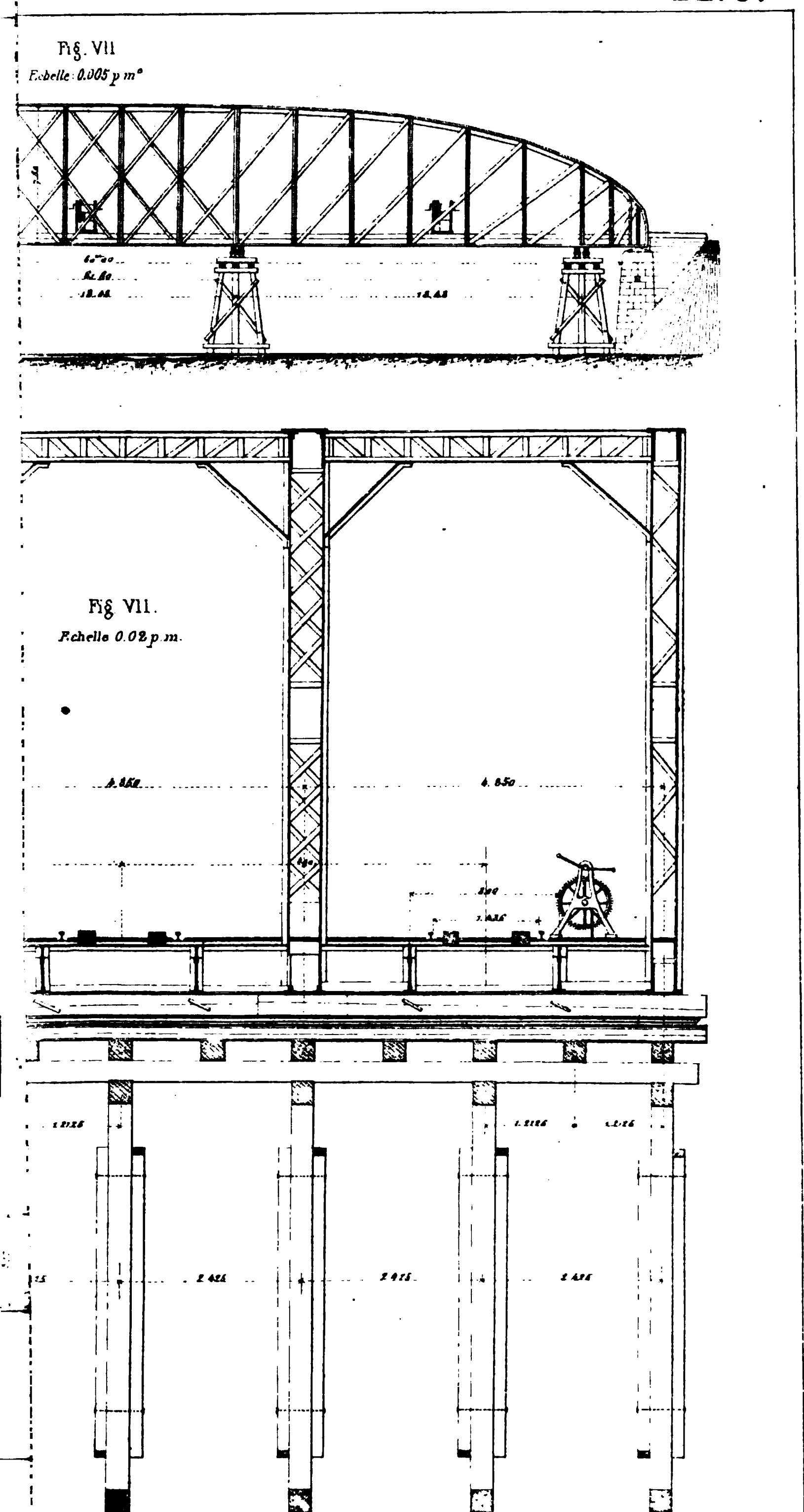
TRANSPORT DE VIANDES. — Les plaines de l'Ouest deviendront le centr de la production de la viande, tant pour la consommation du pays qu pour l'importation en Europe; on transporte sur une vaste échelle les ani maux vivants par chemins de fer; mais on commence à transporter la viand abattue dans des wagons et dans des compartiments spéciaux dans le navires, avec l'aide du refroidissement; il serait désirable d'avoir des ren seignements sur ces méthodes de transport.

Le discours se termine par quelques considérations sur l'avenir de l profession d'ingénieur; il se félicite de la situation actuelle de la Sociét qui compte 600 membres et dont l'accroissement d'effectif est satisfaisant puisqu'il a été admis cette année 100 membres, tandis que la moyenne étai généralement de 30.

Le Secrétaire-Rédacteur,

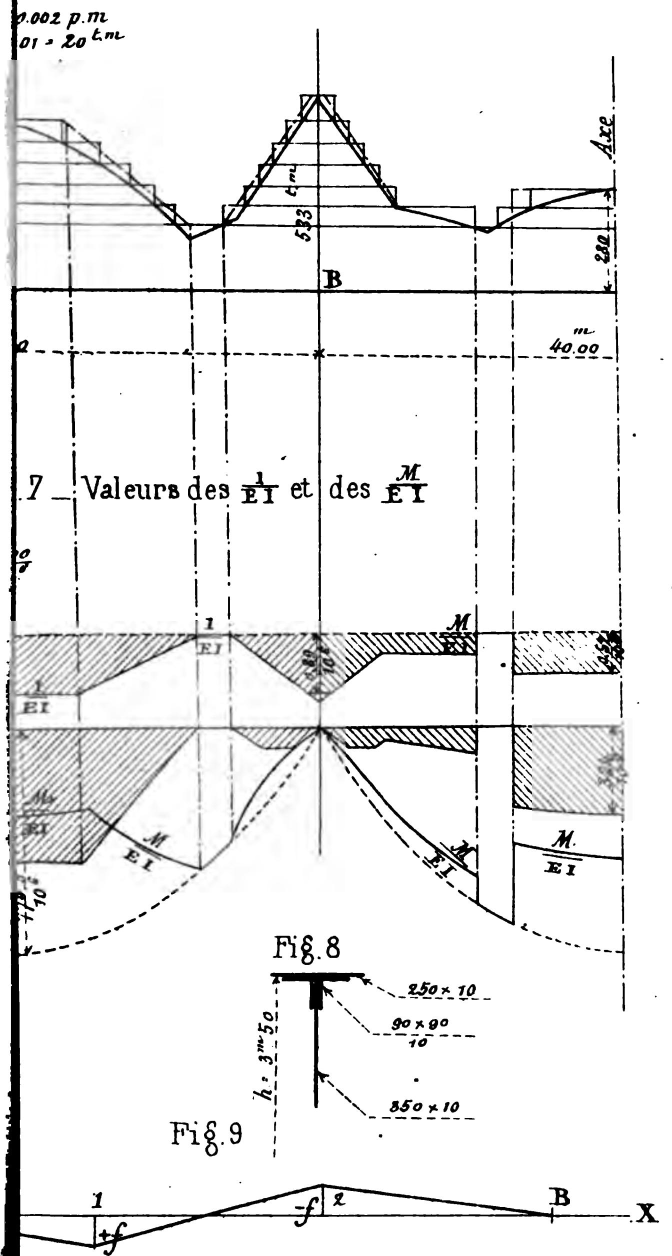
A. MALLET.

PARIS. — IMPRIMERIE DE E. CAPIOMONT ET V. RENAULT, RUE DES POITEVINS, 6.
Imprimeurs de la Société des Ingénieurs civils.


Fig. VII
Echelle: 0.005 p m°
Fig. VII.
Echelle 0.02 p.m.
4.850

Poutre en trois travées égales.

Fig. 6. Epure de résistance.



MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

SEPTEMBRE 1880

N° 9

Pendant le mois de septembre la Société a reçu :

1° De M. Léon Somzée, membre de la Société, une Notice sur les *Moyens de prévenir les explosions dans les mines.*

2° De M. Ducher, éditeur, un exemplaire de l'ouvrage de M. Th. Château, *Technologie du bâtiment.*

3° Du ministère de l'Agriculture et du Commerce, les n°s 8, 17, 18, 21, 25 et 26 des comptes rendus sténographiques du *Comité central des congrès et conférences à l'Exposition de* 1878.

4° De M. Bougarel, membre de la Société, une note ayant pour titre : *Du régime des chaudières à vapeur et des récipients de vapeur.*

De M. Ducher et Cie, éditeurs, un exemplaire de l'*Histoire de la législation des travaux publics,* par M. Malapert, avocat à la Cour d'appel de Paris.

De M. Gauthier (Ferdinand), membre de la Société, l'ouvrage de M. Jeans, intitulé : *Steel : its history, manufacture, properties, and uses.*

De M. Schwebelé, bibliothécaire de l'École des ponts et chaussées, un ouvrage intitulé : *Notice sur les modèles cartes et dessins français à l'Exposition de Melbourne* (1880), réunis par les soins du ministère des Travaux publics.

De M. César Poulain, ancien maire de Reims, manufacturier, ses *Lettres à M. le Président de la Chambre de commerce de Reims sur l'agriculture et les traités de Commerce.*

De M. Bezian, secrétaire général de la Société industrielle et commerciale de Troyes, une *Notice sur le gaz de Troyes.*

De M. Vauthier, membre de la Société, ses *Lettres au président de la commission de la Chambre des députés chargés de l'étude générale des chemins de fer.*

De M. Mallet (A.), membre de la Société, une note sur *les résultats obtenus dans l'emploi des locomotives Compound sur les chemins de fer secondaires.*

RAPPORT

DE LA SECTION CHARGÉE DE L'ÉTUDE

DU MATÉRIEL ROULANT

DES CHEMINS DE FER ET TRAMWAYS

A L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1878

PAR M. HENRI VALLOT.

Le rapport que nous présentons à la Société est un aperçu sommaire des particularités saillantes qu'offrait le matériel roulant figurant à l'Exposition universelle de 1878 en même temps qu'un résumé des rapports partiels rédigés par quelques-uns des membres de la Commission chargée de l'étude des Voitures et Wagons [1].

Nous renverrons donc, pour plus amples détails, à chacun de ces rapports en particulier ainsi qu'aux dossiers réunis par les soins de la Commission, et renfermant tous les documents qu'il a été possible de recueillir sur cette question, le présent travail n'étant destiné qu'à donner une idée d'ensemble et à faire connaître les caractères principaux du matériel exposé.

Nous avons divisé cette étude en plusieurs parties dont nous donnons ci-après la subdivision, et nous l'avons fait suivre de quelques tableaux contenant les données numériques et les principales conditions d'établissement des véhicules exposés :

1. Cette Commission était composée de MM. de Wissocq, président; Vallot, secrétaire; Boutmy, Bontemps, Guébin, Kremer, Lecocq, Morandiere, J. Rey, Salomon et Vidard.

Classification générale du rapport.

Partie	Divisions	Subdivisions
Ire Partie. — Train des véhicules: voitures et wagons.....	1° Essieux montés	Essieux, — corps de roues, — bandages.
	2° Boîtes et ressorts......	Boîtes, — graissage, Ressorts de suspension, Ressorts de choc et de traction, — attelages.
	3° Châssis......	Châssis en bois, métallique ou mixte.
IIe Partie. — Voitures à voyageurs considérées au point de vue de la construction de la caisse......................	Forme extérieure des caisses, Nature des matériaux employés à la construction, Dimensions extérieures des caisses.	
IIIe Partie. — Voitures à voyageurs considérées au point de vue de la distribution et de l'aménagement intérieur.....	I. Disposition générale intérieure et distribution...	1° Voitures de luxe, 2° Voitures ordinaires de toutes classes.
	II. Détails concernant l'aménagement.	
	III. Considérations générales sur le matériel à voyageurs.	
IVe Partie. — Fourgons à bagages, wagons à marchandises et matériel pour transports spéciaux....................	1° Fourgons à bagages, 2° Wagons à marchandises ordinaires, 3° Matériel pour transports spéciaux.	
Ve Partie. — Véhicules pour tramways et pour chemins de fer à voie étroite............	1° Véhicules pour tramways, 2° Voitures et wagons pour chemins de fer à voie étroite.	
VIe Partie. — Questions diverses se rattachant à l'étude du matériel roulant...............	1° Chauffage des trains, 2° Application des freins continus au matériel roulant.	

Tableaux. — Parmi les tableaux dont nous donnons ci-dessous la nomenclature les sept premiers sont extraits du rapport communiqué par M. Salomon sur le matériel Français, et les deux derniers relatifs aux véhicules étrangers ont été rédigés par le Secrétaire rapporteur.

MATÉRIEL FRANÇAIS. (M. Salomon).	I. Boîtes, roues, essieux appliqués aux véhicules exposés. II. Châssis appliqués aux véhicules exposés. III. Ressorts de suspension. IV. — de choc et de traction (ressorts indépendants). V. — — — (— communs). VI. Caisses de voitures à voyageurs. VII. — de fourgons et wagons à marchandises.

PREMIÈRE PARTIE.

TRAIN DES VÉHICULES (VOITURES ET WAGONS).

1° ESSIEUX MONTÉS

Essieux. — Au point de vue de la nature du métal, on rencontre, sous les véhicules exposés, des essieux en fer et des essieux en acier; certaines Compagnies font un usage général de l'acier pour leurs essieux : on peut citer par exemple, dans ce dernier cas, le Nord-Français, le Nord-Autrichien et l'État autrichien; d'autres emploient simultanément le fer et l'acier, et d'autres enfin ont conservé l'essieu en fer; l'accord paraît, du reste, loin d'être établi sur les propriétés les plus convenables qu'il y a lieu d'exiger du métal employé, au point de vue de la douceur, de la raideur ou de la résistance à la flexion.

Les dimensions des diverses parties des essieux ont augmenté aussi bien à l'étranger qu'en France, avec les charges qu'ils ont à supporter. Ainsi, pour les fusées, les diamètres de 75 à 80 millimètres ne sont plus des maxima, et ils se sont élevés à 85, 90 et même 100 millimètres, avec des longueurs de 170 à 200 millimètres, pour des charges sur rails qui atteignent, dans les véhicules à *grande vitesse*, 6,500 kilogrammes par essieu[1].

La portée de calage, en général, est cylindrique avec une légère saillie à l'arrière du moyeu. Au chemin de fer de l'État autrichien et

1. Le fourgon d'Orléans était même indiqué comme pesant 18 tonnes chargé, soit 9,000 kilogrammes par essieu.

sur les Chemins Hongrois, elle est conique et sans saillie. La clavette a presque entièrement disparu.

Corps de roues. — Les anciens centres de roues à moyeu en fonte et à rais en fer sont aujourd'hui à peu près abandonnés ; la préférence est donnée, en France, aux centres entièrement en fer; ainsi, on emploie la roue à moyeu et rais en fer, connue sous le nom de *roue Arbel;* la roue à centre plein; la roue en étoile dite *roue Brunon ;* il y a, pour ce dernier type, à signaler une innovation consistant dans l'interposition de cales en bois, forcées entre les rayons, dans le but d'obtenir les avantages des centres pleins en fer, sans en avoir les inconvénients, soit : de diminuer la sonorité, et d'éviter le soulèvement de la poussière [1]. On peut noter également l'emploi, sur les chemins de l'Ouest et d'Orléans, des *roues Mansell*, à centre plein tout en bois avec moyeu en fer et bandage rapporté, maintenu par deux cercles en fer en forme d'agrafes, serrés de chaque côté du corps de roue [2].

A l'étranger on trouve, en outre des divers types de roues employés en France, les roues tout en fonte, dont l'usage n'est pas autorisé sur les lignes Françaises. L'État autrichien emploie, comme type normal la roue en fer forgé en étoile, à huit doubles branches. Le Nord-Autrichien fait un usage exclusif des roues tout en fonte coulées en coquille, de la fabrication Ganz, de Buda-Pesth. On sait d'ailleurs que l'emploi des roues en fonte, assez fréquent en Allemagne, est général aux États-Unis [3].

Il reste encore à indiquer les roues du Sleeping-car exposé dans la section Belge : le centre est en papier comprimé, et serré entre deux flasques de tôle.

Bandages. — Les bandages des roues des véhicules exposés sont généralement en acier; les bandages en fer sont cependant encore en faveur pour les voitures à voyageurs dans certaines Compagnies.

La forme des bandages est restée à peu près la même ; leur épaisseur

1. L'une des voitures exposées par la Compagnie du Midi, était munie de ce système de roues.

2. Ce type de roues était également appliqué à la voiture Pulmann, exposée, destinée à l'Italie.

3. Ainsi que cela résulte d'une note très intéressante publiée et répandue à l'Exposition, par MM. Barnum, Richardson et Cie États-Unis).

tend toujours à augmenter. L'attache des bandages sur la jante se fait, en France surtout, au moyen de boulons ou de vis ; la Compagnie d'Orléans emploie en outre une disposition spéciale qui consiste en un rebord venu à la jante et accrochant le bandage pour le retenir sûrement dans le cas de rupture[1], disposition offrant une grande analogie avec le système d'attache des bandages dans les roues « *Mansell* ».

La Belgique (Société de la Dyle) a exposé un système d'attache qui consiste en une rainure circulaire pratiquée dans la jante et dans le bandage, en forme de double queue d'hironde, et remplie de zinc coulé. Enfin, en Suède, on remarquait un montage au moyen de deux cercles à agrafes, maintenus par des boulons tangents à la jante intérieurement.

En terminant ce qui a rapport aux roues montées, nous appellerons l'attention sur la machine à essayer les bandages de la Compagnie de l'Ouest, et sur l'équilibrage des roues, pratiqué par les Compagnies du Nord et de Lyon.

2° BOITES ET RESSORTS

Boîtes de graissage. — Les boîtes des véhicules exposés, Français ou Étrangers, ne présentent pas de disposition nouvelle. En France, on emploie généralement le graissage mixte, à réservoir d'huile inférieur et réservoir de graisse supérieur, fermé par des bouchons fusibles, et ne servant que dans le cas où la fusée vient à chauffer. La Compagnie de l'Ouest emploie exclusivement la graisse et la Compagnie de l'Est le graissage à l'huile seule. La Société autrichienne des chemins de l'État emploie la boîte à huile du système « Paget » à graisseur à mèche à la partie supérieure, avec déchets de coton dans le réservoir inférieur. Le chemin de fer Impératrice Élisabeth (Autriche) emploie la boîte « Curant », de même système, avec obturateur en bois élastique, et le Chemin du Nord-Autrichien une boîte analogue aux précédentes. Sur l'État belge, on trouve la boîte « Gobert », également à graissage à l'huile à la partie inférieure[1]. On voit donc que le graissage à l'huile, même à l'exclusion de la graisse, semble dominer, surtout à l'étranger.

1. Disposition également employée en Angleterre et en Allemagne.

La Compagnie des wagons-lits a également adopté une boîte à huile à tampon inférieur avec mèche à la partie supérieure; un spécimen figurait sur le Sleeping-car, exposé par cette Compagnie.

Les coussinets ne présentent d'autre innovation que l'introduction, dans plusieurs Compagnies françaises, du bronze phosphoreux, dont l'application est encore trop récente pour pouvoir donner lieu à une appréciation certaine.

On peut signaler, comme se rattachant à ce sujet, la disposition spéciale appliquée sur la voiture à vapeur système Belpaire, exposée par la Compagnie belge de construction de matériel; dans cette voiture, les boîtes de l'essieu d'arrière portent une rainure oblique dans laquelle pénètre une saillie correspondante du coussinet (disposition qui rappelle celle du système Ed. Roy, adoptée sur la locomotive exposée par la même Compagnie); l'essieu peut ainsi, au moyen d'un jeu transversal de 30 millimètres, prendre une position convergente au passage des courbes, ce qui présente un intérêt, l'écartement des essieux extrêmes étant de 6^{m},80. Le Sleeping-car exposé, également à trois essieux et à empâtement total de 6 mètres, avait des boîtes ayant, dans les glissières en bronze des plaques de garde, un jeu transversal de 25 millimètres.

a) **Ressorts et attelages. — Ressorts de suspension.** — Leur forme générale varie peu; ils sont tous à lames de section méplate et épaisseur constante (sauf l'amincissement aux extrémités). En France, les lames sont maintenues à leurs extrémités par les étoquiaux, tandis qu'à l'étranger, ceux-ci sont généralement remplacés par des nervures venues dans l'axe longitudinal des feuilles et régnant sur toute leur longueur; cette application ne s'est pas encore répandue en France.

Le poids des ressorts de suspension des voitures à voyageurs, conséquence de la charge et de la flexibilité, tend constamment à augmenter comme les charges elles-mêmes; la flexibilité varie d'ailleurs dans des limites assez étendues, généralement comprises entre 60 et 120 millimètres par tonne[1]. La longueur des ressorts acquiert aujourd'hui des proportions considérables dans les voitures de 1re classe et de luxe; elle atteint 2^{m},200 dans les voitures *type d'Orléans*, 2^{m},300 dans le Salon de l'Est, 2^{m},250 dans le Sleeping-car belge.

L'attache des ressorts de suspension présente aussi quelques parti-

1. Elle a même été portée exceptionnellement à 150 millimètres, mais d'après les expériences faites au chemin de fer d'Orléans, il a semblé préférable de se tenir au-dessous de la limite de 120 millimètres.

cularités nouvelles ; sous le rapport de la fixation sur les boîtes, on remarque une tendance à la suppression des étriers et boulons ; dans l'une des dispositions employées, la boîte porte à la partie supérieure un logement rectangulaire dans lequel pénètre le collier entourant le ressort en son milieu, de sorte que celui-ci repose simplement sur la boîte ; on peut reprocher à cette disposition de ne pas permettre d'intercaler entre la boîte et le ressort les cales destinées à compenser l'usure des coussinets et des bandages. Un arrangement différent, adopté par la Compagnie du Midi, et qui obvie à l'inconvénient signalé, consiste à saisir la boîte entre deux joues faisant partie du collier.

Quant à l'attache des ressorts avec le châssis, deux types principaux peuvent être cités comme exemples : celui de la voiture d'Orléans et celui du Sleeping-car.

Dans le type d'Orléans, les menottes ordinaires sont remplacées à chaque extrémité du ressort par des anneaux sur lesquels agit une tige de tension inclinée ; cette tige repose elle-même, par l'intermédiaire d'une rondelle de caoutchouc serrée entre deux plateaux en fer, sur une pièce de fer dont la partie horizontale est maintenue dans les supports fixés aux châssis ; les anneaux permettent ainsi un mouvement transversal des essieux, et le plateau supérieur est articulé de manière à leur laisser un certain jeu longitudinal. Pour compléter cette disposition, on a réservé aux boîtes à graisse, dont l'une des joues est supprimée, un jeu considérable dans les plaques de garde, de sorte que les essieux sont entraînés par l'intermédiaire des ressorts, et tout contact métallique est supprimé entre les essieux et le châssis : la caisse flotte, pour ainsi dire, sur son train de roues.

Dans le Sleeping-car, on trouve aussi les anneaux remplaçant les menottes, mais la tige de tension qui les supporte (toujours par l'intermédiaire d'une rondelle de caoutchouc maintenue entre deux plateaux), est complètement verticale, et passe directement dans le support fixé au châssis ; ici, l'effort de traction est donc transmis *intégralement* par les plaques de garde, qui, à cet effet, sont munies de glissières analogues à celles des locomotives. La Compagnie de l'Est, dans sa voiture-salon, et la Compagnie française, dans sa voiture à couloir excentré, ont adopté les anneaux de suspension, les tirants obliques et les rondelles de caoutchouc entre plateaux métalliques, mais en supprimant la tige de tension horizontale comme dans le Sleeping-car ; cette dernière disposition est plus simple ; la première a tout au moins

l'avantage de faciliter le montage des ressorts. La suspension d'Orléans était aussi appliquée à l'Exposition sur la voiture de famille de M. E. Chevalier.

La voiture Pulmann présentait un mode de suspension particulier qui mérite d'être signalé. Le châssis de chaque truck, portant les plaques de garde, repose par l'intermédiaire de ressorts en hélice peu flexibles, sur deux pièces de fer longitudinales accrochées aux boîtes à graisse. Les traverses intermédiaires de ce châssis supportent, au moyen de bielles pendantes obliques, d'autres pièces inférieures sur lesquelles s'appuie une série de ressorts à pincettes (au nombre de six pour chaque truck), formant la suspension proprement dite. Sur ces ressorts, repose une pièce transversale supérieure logée avec un certain jeu entre les traverses intermédiaires du châssis, et portant au centre le pivot et aux extrémités des platines pour recevoir le châssis de caisse. L'articulation des bielles permet un léger écart, et tend à ramener l'ensemble vers la position médiane, après chaque oscillation latérale. D'autre part, les oscillations verticales sont limitées par une disposition qui restreint l'amplitude des réactions produites par la suspension.

Relativement aux véhicules à marchandises, la seule particularité à noter est le remplacement, dans quelques Compagnies françaises, des ressorts à bouts refoulés et à sellettes par les ressorts à rouleaux exclusivement employés en Allemagne.

Enfin, l'on trouvait, dans l'exposition de l'usine de Saint-Chamond, un ressort de suspension du système « Cook, » formé par la combinaison d'un ressort à boudin et de trois tiges d'acier parallèles en forme d'arc : ce ressort est en essai sur la ligne du Nord.

b) **Ressorts de choc et de traction**. — Dans les voitures, le ressort servant à la fois pour le choc et pour la traction est presque abandonné. En France, les Compagnies qui l'ont conservé adoptent la conjugaison des ressorts uniques, et les autres emploient un ressort séparé pour la traction. Ainsi, les Compagnies de l'Ouest, du Nord et du Midi ont les ressorts uniques conjugués[1]; celles de Lyon, d'Orléans et de l'Est ont des ressorts séparés pour le choc et la traction. Il faut noter cependant que dans les véhicules de la Compagnie de l'Est, la

1. Cependant l'une des voitures exposées par la Compagnie du Midi, était munie de ressorts spéciaux pour la traction et le choc.

barre d'attelage, au lieu de se terminer, comme d'ordinaire, à chaque ressort de traction, est *continue*, ce qui limite les variations de flexion de chacun de ces ressorts aux variations de résistance, non du train entier, mais de chaque véhicule en particulier : l'Allemagne fait d'ailleurs un usage exclusif de ce système, également appliqué, à l'Exposition, aux véhicules suédois.

Dans les wagons à marchandises, les mêmes ressorts servent à la fois pour le choc et pour la traction : sur l'Ouest, ils sont conjugués comme pour le matériel à voyageurs. Cependant les wagons de la Compagnie d'Orléans ont les ressorts de traction à lames et les ressorts de choc à spirale.

Le ressort à spirale, peu en faveur en France, est employé d'une manière générale en Allemagne, mais sous la forme dite en volute, c'est-à-dire à lame très haute et très mince ; nous le trouvons appliqué à l'Exposition aux véhicules du chemin du Nord-Autrichien pour les tampons, et à ceux des Chemins Romains ainsi qu'à la voiture Pulmann pour le choc et la traction. L'Italie et l'Espagne emploient presque exclusivement le ressort à lames.

La Compagnie du Midi applique à ses wagons les rondelles Belleville pour le choc, ainsi qu'on a pu le voir pour le wagon plate-forme de cette Compagnie exposé dans les ateliers de Labouheyre.

c) **Attelages.** — La voiture mixte pour petits embranchements, exposée par la Compagnie de l'Ouest, était munie d'un tendeur à déclenchement manœuvré de la guérite du garde-frein ; cet appareil permet, au passage sans arrêt d'une gare de jonction, de décrocher mécaniquement la voiture, attelée en queue d'un train[1].

Sur les véhicules suédois, on remarque que les chaînes de sûreté d'un même véhicule sont réunies entre elles par un crochet, auquel vient s'accrocher le tendeur libre du véhicule voisin.

Enfin il reste à signaler, comme se rattachant à ce sujet, deux appareils ayant pour but de faire l'attelage des wagons par le côté, sans pénétrer entre les tampons des véhicules. L'un de ces systèmes était exposé par MM. Valère Mabille et Ed. Penny (Belgique), et l'autre par la Compagnie du Nord de l'Autriche. Dans chacun de ces appareils, les

1. Cet appareil a fonctionné en service régulier, dans le courant de 1879, sur l'embranchement de Beuzeville à Fécamp, avec une application ingénieuse du frein Westinghouse, pour l'arrêt de la voiture détachée.

chaînes de sûreté étaient supprimées, et remplacées par l'attelage simultané des deux tendeurs, l'un d'eux servant à la traction, et l'autre restant libre pour n'entrer en jeu qu'en cas de rupture du premier.

3° CHASSIS

Le châssis en bois est aujourd'hui remplacé presque partout, soit par le châssis mixte, soit par le châssis entièrement en fer; ce dernier semble entrer de plus en plus dans la pratique de la construction. On ne voyait à l'Exposition que fort peu de châssis entièrement en bois sur les véhicules étrangers. En France, on le trouvait encore sur la voiture de 2e classe de l'Ouest, et sur les véhicules à grande vitesse du Nord[1], de l'Orléans et du Midi (1re classe à deux coupés[2]); et encore, ces trois dernières Compagnies ont-elles employé, pour augmenter la rigidité de leurs brancards en bois, des feuilles de tôle : dans ce cas, il n'est pas inutile de faire remarquer que ces brancards mixtes sont plus lourds que les brancards tout en fer[3]; on perd donc ainsi une partie du bénéfice du poids, l'un des avantages réclamés en faveur du châssis en bois.

Vient ensuite le châssis mixte, dans lequel les brancards sont en fer, soit en I, soit en [. Tout le reste du châssis peut être en bois, comme dans les voitures exposées par la Compagnie de l'Ouest[4] et le fourgon du Nord; ce châssis existe également dans les véhicules des chemins de l'État autrichien : cette dernière Compagnie a néanmoins l'intention d'appliquer à tous ses véhicules le châssis complètement en fer dont elle a déjà fait l'expérience sur ses wagons plates-formes. Le wagon à marchandises exposé par la Compagnie du Nord de l'Autriche avait aussi un châssis mixte en bois avec brancards en fer.

Enfin, dans d'autres châssis mixtes toujours à brancards métalliques, le fer et le bois se partagent d'une manière différente le reste de la construction; ainsi dans la voiture mixte de l'Ouest toutes les traverses sont en bois, avec croix de Saint-André en fer; il en est de même dans les wagons à marchandises exposés par cette Compagnie; pour ces

1. Le fourgon du Nord avait un châssis mixte à brancards en fer.
2. L'autre voiture exposée par la Compagnie du Midi, avait un châssis tout en fer.
3. Le fer employé pour les brancards métalliques, pèse à peu près uniformément 32 kil. le mètre courant; le poids du brancard mixte d'Orléans est d'environ 44 kilog., celui du Midi 43 kilog.; celui du Nord n'est armé que sur une partie de sa longueur.
4. Sauf celle de 2e classe.

derniers, nous devons signaler l'introduction de l'acier doux dans la construction des brancards.

Dans le Sleeping-car, les traverses de tête sont seules en bois, le reste étant métallique. Au contraire, dans les voitures exposées par la Suède, les brancards sont en fer ainsi que les traverses de tête, et le reste du châssis est en bois.

Le châssis tout en fer est représenté à l'Exposition par une assez grande variété de types. La structure de sa charpente est d'ailleurs variable; certaines Compagnies ont conservé la croix de Saint-André rappelant la forme des châssis en bois; d'autres se contentent d'assemblages rectangulaires des traverses intermédiaires avec des flèches parallèles aux longerons, consolidés par des goussets d'angle (particulièrement à la réunion des brancards et des traverses de tête), qui assurent l'équerrage du bâti. Le premier mode de construction a été adopté par la Compagnie de Lyon, et on le trouvait sur les quatre véhicules exposés : par la Compagnie du Midi pour l'une de ses voitures de première classe, par la Compagnie Française de construction de matériel dans sa voiture à couloir excentré. Le deuxième mode est appliqué par la Compagnie de l'Est à tous les véhicules de son réseau; il est employé aussi par la Compagnie du Grand-Central belge; nous avons dit que les Chemins de l'État autrichien vont adopter le châssis entièrement métallique pour tout leur matériel.

En résumé, l'on peut dire que le châssis métallique, ou tout au moins à brancards métalliques, présente l'avantage d'une grande rigidité, qualité qui le fait préférer aujourdhui au châssis tout en bois, et si l'on peut lui reprocher d'être un peu lourd, l'objection perd une grande partie de sa valeur pour les châssis dont la longueur atteint 8 à 9 mètres [1] et qui exigent des brancards armés de tôle. Quant à la sonorité plus grande du châssis en fer, loin d'être admise d'ailleurs d'une façon indiscutable, elle n'est à considérer évidemment que dans le matériel à voyageurs, et encore semble-t-il possible de l'atténuer beaucoup par des dispositions qui s'opposent à la transmission des vibrations. Enfin, l'emploi du fer au lieu de bois pour les brancards, paraît surtout intéressant pour les grands châssis par suite de l'augmentation crois-

1. Le châssis entièrement en fer de l'une des voitures exposées par la Compagnie du Midi, dont la longueur est de 7^{m},520 extérieurement aux traverses de tête, pèse 2,300 kil. environ, non compris l'attelage et les ressorts de suspension.

sante des prix et la difficulté de se procurer des pièces de bois saines de ces dimensions.

Les considérations qui précèdent s'appliquent au matériel ordinaire européen ; la voiture Pulmann exposée est du modèle dit « Américain »; elle reposait sur deux trucks à quatre roues; le châssis des trucks était en bois avec quelques pièces et armatures métalliques; le grand châssis supportant la caisse était également en bois, les brancards, vu leur grande longueur, étant consolidés par des contre-fiches en bois dissimulées dans les parois de face et armés de tirants en fer.

DEUXIÈME PARTIE.

VOITURES A VOYAGEURS

CONSIDÉRÉES AU POINT DE VUE DE LA CONSTRUCTION DE LA CAISSE.

Après avoir parlé des parties communes à tout le matériel de transport, nous considérons séparément, pour ce qui va suivre, le matériel à voyageurs et le matériel à marchandises, et, pour le premier, nous étudierons d'abord la construction de la caisse, en réservant un chapitre spécial à la question de distribution et d'aménagement intérieur.

Forme extérieure de la caisse. — La caisse est constituée aujourd'hui par des parois généralement droites sur les dossiers, mais presque toujours galbées sur les faces, afin d'augmenter l'emmarchement, tout en donnant à la caisse à la hauteur de la ceinture la plus grande largeur possible, et en maintenant la saillie des marchepieds inférieurs dans les limites du gabarit; l'une des voitures exposées par la Compagnie du Midi n'avait qu'un très léger galbe sur les faces; la voiture mixte 2e, 3e classe de l'État autrichien avait la caisse complètement carrée; la voiture du Chemin de Gallicie (Autriche) était au contraire très fortement cintrée au-dessous de la ceinture. A

l'Exposition, la voiture de 1re classe du Nord était la seule qui fît exception à cette règle ; sa caisse rappelait encore l'ancienne forme *berline* partout abandonnée aujourd'hui.

Accès. — La majorité des voitures de l'Exposition avaient des portières latérales. Il existait cependant plusieurs spécimens de voitures à plates-formes, avec accès aux extrémités. Mais parmi celles-ci, on compte surtout des voitures de luxe, comme le salon de famille de M. E. Chevalier, la voiture à couloir excentré (Cie Française), la voiture-salon de la Haute-Italie, et l'une des voitures de 1re classe de l'État suédois, pour lesquelles on a adopté cette disposition surtout pour faciliter la distribution intérieure.

La plate-forme peut même, comme dans le salon de la Haute-Italie, être complètement close, et faire en réalité partie du premier compartiment à l'intérieur de la caisse.

Les autres voitures sur lesquelles on trouve la plate-forme, soit à une, soit aux deux extrémités, sont : la voiture mixte 1re, 2e classe, et la voiture 2e, 3e classe de l'État autrichien ; les deux voitures à vapeur de la Belgique, et la voiture mixte de la Suède (3e classe et compartiment pour le conducteur[1]).

Construction des caisses. — Les différentes pièces de la membrure de caisse se font en chêne, frêne ou teack ; le plancher, le pavillon et les parois intérieures, en sapin. L'extérieur est généralement revêtu de panneaux de tôle ; cependant quelques Compagnies (comme celle du Midi) adoptent des panneaux en teack apparent verni, mais alors toutes les pièces apparentes de la membrure sont en teack.

Le pavillon est couvert par une toiture en zinc que l'on trouve sur presque tous les véhicules exposés : elle est en cuivre sur le wagon-poste français, sur la voiture de famille de M. E. Chevalier, et sur les véhicules de la Compagnie de Lyon, et en toile enduite pour ceux d'Orléans. Les toitures en zinc se retrouvent aussi sur les véhicules étrangers ; il faut remarquer cependant que toutes les voitures des chemins de l'État autrichien sont couvertes en tôle.

On peut signaler aussi l'emploi des planchers et pavillons doubles,

1. Toutefois, dans cette dernière, la plate-forme, qui est du côté du compartiment de 3e classe, ne doit servir que dans le cas où la voiture serait appropriée au service des blessés en temps de guerre, après enlèvement des banquettes de 3e classe.

quelquefois remplis de varech ou de copeaux, dans le but de diminuer le froid et d'assourdir le bruit produit par la marche ; c'est également pour empêcher la propagation des vibrations que l'on interpose, dans presque toutes les voitures de 1re classe ou de luxe, entre la caisse et le châssis, des rondelles ou des plaques de caoutchouc qui fonctionnent comme *isolant* ; les ressorts à spirale logés dans des boîtes en fonte, entre la caisse et le châssis, sur la voiture à coupé du Nord et sur l'une de celles du Midi, ont pour but de créer une double suspension : dans la voiture du Nord, on peut remarquer que la tension initiale des ressorts à spirale était différente aux deux extrémités du véhicule, ce qui était motivé par le manque de symétrie de la voiture.

Dimensions extérieures des véhicules. — Relativement aux dimensions extérieures des voitures, on peut dire que depuis quelques années elles ont augmenté surtout en hauteur ; la longueur de la caisse atteint et dépasse souvent 8 mètres. Quant à la largeur et à la hauteur, on les a portées sur certaines Compagnies au maximum que permettent les limites imposées par les gabarits ; nous citerons, par exemple, les voitures de 1re classe de l'Est[1] et d'Orléans, et le Sleeping-car belge qui atteignent 2m,80 de largeur extérieure à la ceinture, avec 2m,10 de hauteur extérieure sur le côté ; la voiture à communication du Midi, dans laquelle on a combiné 2m,75 de largeur avec 2m,25 de hauteur, et la voiture de famille de M. E. Chevalier dans laquelle cette dernière dimension atteint 2m,30, toujours avec une largeur à la ceinture de 2m,75. Nous constatons également que la voiture de 3e classe de l'Est a aussi 2m,80 de largeur[2], ce qui est une amélioration importante à noter dans les voitures de cette catégorie dont le nombre de places est de 5 par banquette. On comprend d'ailleurs que les voyageurs de 2e et 3e classe profitent de l'augmentation possible en largeur et en hauteur des voitures de 1re classe, car si cette augmentation est admise pour celles-ci, il n'y a pas de raison sérieuse pour ne pas l'appliquer à tous les véhicules d'un même réseau[3].

1. En 1867, la Compagnie de l'Est présentait déjà des voitures dont la largeur extérieure était de 2m,80.

2. Dimension déjà adoptée par cette Compagnie en 1867.

3. Voici la comparaison entre les largeurs à la ceinture des différentes voitures exposées par les grandes Compagnies françaises, en 1867 et en 1878.

	Nord.	Ouest.	Orléans.	Midi.	P.-L.-M.	Est.
1867	2m,60	2m,63	2m,62	2m,57	2m,60	2m,80
1878	2m,72	2m,69	2m,80	2m,75	2m,67	2m,80

TROISIÈME PARTIE.

VOITURES A VOYAGEURS

CONSIDÉRÉES

AU POINT DE VUE DE LA DISTRIBUTION ET DE L'AMÉNAGEMENT INTÉRIEUR.

CHAPITRE PREMIER.

Disposition générale intérieure et distribution.

Tableau donnant la classification générale des voitures exposées.

A. — VOITURES DE LUXE.

a) VOITURES NE CONTENANT QUE DES PLACES DE LUXE.

1° *Voitures de cérémonie exceptionnelles.*

Voiture-salon	Haute-Italie.
Voiture de famille	E. Chevalier.

2° *Voitures à la disposition du public.*

Voiture-salon	P.-L.-M.
Sleeping-Car	Belgique.
Première classe à lits	Gallicie (Autriche).
Wagon-lits (en dessin)	États autrichiens.
— —	Nord-Autrichien.
Première classe	État suédois.
Pulmann palace-Car	États-Unis (Italie).

b) VOITURES DE PREMIÈRE CLASSE OU MIXTES CONTENANT DES PLACES OU AMÉNAGEMENTS DE LUXE.

1° *Compartiments de luxe avec cabinets communs à tous les voyageurs.*

Voiture à couloir excentré	Compagnie Française.

2° *Un ou deux compartiments de luxe avec aménagements spéciaux à ces compartiments.*

Compartiment de luxe intermédiaire	Première classe à compartiment de luxe	Est.
	— —	Orléans.
	— —	Chemins Romains.
Coupé à l'extrémité	Première classe à coupé-lit	P.-L.-M.
	— à compartiment de luxe	Nord.
Deux coupés	Première classe à coupé-lit	P.-L.-M.
	— à coupé-fauteuil	Ouest.
	— à deux coupés-lits	Midi.

3° *Places ordinaires avec cabinets accessibles pour tous les voyageurs.*

Première classe à communication	Midi.
— à cabinet de toilette	Suède.
Première et deuxième classe à cabinet de toilette	État autrichien.

B. — VOITURES ORDINAIRES DE TOUTES CLASSES.

Première classe à quatre compartiments	Ouest.
Deuxième classe à quatre compartiments	Ouest.
Mixte pour embranchements	Ouest.
Troisième classe	Est.
Mixte deuxième et troisième classes	État autrichien.
Deux voitures à vapeur (système Belpaire)	Belgique.
Mixte première et deuxième classes	Grand-Central belge.
Troisième classe et fourgon	Suède.

Le tableau qui précède fait ressortir la classification que nous avons adoptée pour les voitures à voyageurs figurant à l'Exposition, considérées au point de vue de leur distribution intérieure. Nous les divisons ainsi en deux catégories :

1° Les voitures considérées comme voitures de luxe, c'est-à-dire celles qui renferment des aménagements que ne comportent pas les voitures ordinaires, tels que lits, fauteuils, compartiments à lavabo ou à water-closet;

2° Les voitures ordinaires de toutes classes.

A. — VOITURES DE LUXE.

Les voitures de luxe sont elles-mêmes de deux sortes :

1° Celles qui sont exclusivement consacrées aux places de luxe;

2° Celles qui contiennent des places ordinaires avec un certain nombre de places de luxe, ou avec des aménagements de luxe.

a) *Voitures ne contenant que des places de luxe.*

Nous nous trouvons amenés tout d'abord à mettre à part, dans ce chapitre, deux voitures qui ne peuvent subir de comparaison avec les autres, à cause de leur destination toute spéciale.

La première, exposée par M. E. Chevalier, est destinée à servir aux voyages d'une famille et a été étudiée pour réunir tout le confortable que peuvent désirer des personnes riches dans un véhicule qui leur appartient.

La seconde est la voiture-salon de la Haute-Italie, qui offre l'aménagement nécessaire à une personne voyageant seule avec ses domestiques.

Ces voitures ont été décrites en détail d'autre part [1], nous dirons seulement que la première comporte, en outre de la plate-forme d'accès fermée pouvant servir de fumoir, un grand salon dans lequel peuvent se tenir 6 à 8 personnes et la nuit 4 personnes couchées ; un cabinet avec lavabo et water-closet, et une petite chambre pour une personne, enfin une cuisine et à la suite la seconde plate-forme. La voiture possède tous les aménagements qui peuvent assurer le confortable, et elle reproduit d'ailleurs les dispositions d'ensemble qui sont généralement demandées au constructeur pour des véhicules de ce genre.

Le *salon de la Haute-Italie* est accessible aussi par une plate-forme, mais complètement fermée et faisant partie d'une antichambre ; à la suite se trouve un salon, puis une chambre à coucher, un compartiment de service, et un cabinet contenant toilette et water-closet. Nous remarquons que cette voiture ne contient qu'un lit placé dans la chambre à coucher, et un lit pour domestique [2].

En outre de ces voitures qui répondent chacune au besoin particulier pour lequel elles ont été construites, il y avait à l'Exposition plusieurs véhicules mis à la disposition du public, et entièrement consacrés aux places de luxe ; ce sont : la voiture-salon de Lyon, le Sleeping-car, la voiture à lits du Chemin de Gallicie (Autriche), la voiture à lits de l'État suédois, le Pulmann-car construit aux États-Unis pour l'Italie, et deux voitures de l'Autriche représentées à l'Exposition seulement par des dessins : celle de la Compagnie Autrichienne des chemins de fer de l'État et celle du Nord-Autrichien.

La disposition intérieure de ces véhicules est d'ailleurs complètement différente ; ainsi *la voiture-salon de Lyon,* offrant seulement comme entrée une porte au milieu de chaque face, est disposée d'une façon absolument symétrique : au milieu, un grand compartiment avec quatre fauteuils pouvant se transformer en fauteuils-lits ; aux extrémités, deux compartiments avec quatre fauteuils chacun, pouvant former deux lits : huit personnes peuvent ainsi dormir commodément ; enfin, dans ces deux compartiments extrêmes, deux autres plus restreints se trouvent enclavés, l'un formant lavabo et water-closet, et l'autre contenant deux sièges pour les domestiques ; ce dernier est

1. Voir les rapports particuliers de M. Kremer, sur les voitures étrangères et de M. Salomon sur le matériel français.

2. Cette voiture-salon, comme nous le disons plus loin, est éclairée au gaz ; elle est en outre munie d'une guérite et d'un frein, nécessaires par suite de la position qu'elle peut occuper en queue des trains.

toutefois de dimensions un peu exiguës. La disposition des autres voitures de cette catégorie diffère complètement de celle du salon de Lyon. Elles présentent comme caractère commun l'existence d'un couloir longitudinal, mettant en communication les divers compartiments entre eux et avec les cabinets formant lavabo et water-closet. Cependant dans la voiture de première classe des Chemins de Gallicie, la caisse a été divisée en deux parties indépendantes ayant chacune son aménagement spécial.

Sauf cette dernière voiture qui est divisée en compartiments ayant chacun leurs portières, et le Sleeping-car dont l'entrée est latérale, toutes les autres sont accessibles par une plate-forme.

Le *Sleeping-car* a une entrée de chaque côté près de l'une des extrémités de la caisse, donnant accès dans un premier couloir transversal qui n'est séparé de la paroi extrême que par l'emplacement qu'occupent les deux cabinets à lavabo et à water-closet; de là un couloir longitudinal et latéral dessert les quatre compartiments, dont les deux extrêmes contiennent chacun deux banquettes à deux places, et les deux du milieu une banquette à deux places : c'est la disposition de jour ; la nuit, chaque banquette se transforme en un lit transversal, et au-dessus de chacune d'elles un lit dissimulé dans la paroi peut se relever, ce qui donne un total de douze places aussi bien de nuit que de jour. A l'extrémité du couloir opposée à l'entrée, se trouve un siège pour le gardien préposé au service du véhicule.

La *voiture de première classe des Chemins Charles-Louis de Gallicie* peut être considérée comme rentrant dans cette catégorie. Elle contient trois compartiments de première classe accessibles par des portières latérales; entre deux de ces compartiments, s'en trouve un quatrième, divisé, par une cloison oblique, en deux parties; l'une forme lavabo et water-closet pour le compartiment extrême et communique avec lui au moyen d'une porte, supprimant ainsi l'une des trois places que comporte chaque banquette complète. Quant au deuxième cabinet, il est commun aux deux autres compartiments qui, pour ce motif, communiquent entre eux au moyen d'une porte ; ainsi une place est supprimée dans chaque compartiment extrême, et deux dans celui du milieu, ce qui réduit à quatorze le nombre des voyageurs de jour. La nuit, les sièges opposés se réunissent pour former des lits très confortables, mais qui ne sont qu'au nombre de six pour toute la voiture.

Le *wagon-lit de la Compagnie autrichienne des chemins de l'Etat* n'était représenté à l'Exposition que par un dessin. En fait, ce véhicule comporte un couloir longitudinal médian auquel on accède par deux plates-formes, avec compartiments à droite et à gauche; il y a en tout sept compartiments égaux en surface, la place du huitième étant occupée par le cabinet à water-closet et par le siège du domestique. Trois de ces compartiments, isolés, contiennent chacun un fauteuil pouvant se transformer en fauteuil-lit; les quatre autres, opposés deux à deux, ne sont en réalité séparés du couloir que par un rideau, de sorte qu'ils peuvent au besoin n'en former que deux, en fermant dans le couloir les deux portes de communication placées au droit des parois transversales; chacun de ces quatre derniers compartiments est garni d'une banquette adossée contre la face, à deux places ou trois places au besoin, qui peut former un lit pour la nuit. Ainsi la voiture peut contenir le jour onze à treize voyageurs, et la nuit sept; chacun d'eux a une toilette à sa disposition. Ici, tous les lits sont disposés longitudinalement, et il est important de faire remarquer qu'il n'y a pas de superposition, ce qui, d'ailleurs, diminue dans une proportion considérable le nombre des places offertes dans la disposition de nuit.

La *voiture de première classe à lits de l'Etat suédois* rappelle de loin la disposition du Sleeping-car; un couloir longitudinal et latéral, auquel on arrive par les plates-formes extrêmes, communique au moyen de portes à coulisse avec quatre compartiments à deux banquettes de deux places chacune, offrant par conséquent seize places de jour; chacune des banquettes servant de lit pour la nuit, sans autre transformation que l'addition d'un traversin, le nombre des places se trouve réduit à huit, car il n'y a pas de superposition. Les compartiments occupant toute la longueur de la caisse, on a dû reporter dans une voiture de troisième classe (contenant également le compartiment réservé au conducteur), deux cabinets dont l'un est destiné au lavabo et l'autre au water-closet; cette voiture, également à plate-forme, communique avec la voiture de première au moyen d'un petit pont de passage : cet arrangement ne semble pas absolument satisfaisant au point de vue du voyageur, surtout eu égard au climat rigoureux du pays auquel cette voiture est destinée.

La *voiture à lits du Chemin du Nord de l'Autriche* n'était représentée à l'Exposition que par un dessin. Elle est accessible par les escaliers

d'une plate-forme fermée, dont les portes sont en retraite sur les parois de la caisse, et comporte un couloir longitudinal excentré, donnant accès d'un côté à trois compartiments ouverts de deux places chacun, et de l'autre à trois compartiments de quatre places, dont un ouvert et deux fermés. Deux sièges opposés peuvent se réunir pour former un lit ; il y a donc dix-huit places de jour et neuf de nuit. A l'extrémité de la voiture opposée à la plate-forme se trouve un cabinet au fond du couloir, présentant d'un côté, un lavabo et de l'autre un water-closet.

La *voiture Pulmann* (*Pulmann-Palace-Car*) reproduisant le type communément adopté aux États-Unis pour ce genre de véhicule, et destiné aux lignes italiennes, renfermait tout ce qu'il est possible de désirer au point de vue du luxe et du confort. Un couloir longitudinal, médian sur une partie de la longueur et latéral pour l'autre partie, et communiquant aux deux bouts avec les plates-formes, dessert les divers compartiments; ce sont, aux extrémités, l'antichambre ou fumoir, les cabinets de toilette et water-closet, le calorifère, etc. Dans une partie de la longueur, le couloir donne accès à quatre compartiments de chaque côté, contenant chacun deux places de jour, et deux lits longitudinaux superposés pour la nuit; le couloir latéral qui lui fait suite correspond à deux compartiments contenant chacun quatre places de jour et quatre lits transversaux pour la nuit. Le total des places est donc de vingt-quatre dans les deux dispositions, ce qui s'explique par suite de la longueur considérable de la caisse. Nous remarquerons toutefois que les lits n'ont que 1^{m},80 de longueur.

b) *Voitures de 1re classe ou mixtes contenant des places ou aménagements de luxe.*

Cette catégorie de voitures est assez nombreuse à l'Exposition, nous la diviserons en trois parties :

1° Voitures renfermant compartiments de luxe et compartiments ordinaires avec cabinets communs pour tous les voyageurs.

2° Voitures renfermant un ou deux compartiments de luxe, avec aménagements spéciaux à ces compartiments.

3° Voitures comprenant seulement des places ordinaires, mais avec cabinet water-closet.

1° *Voiture renfermant compartiments de luxe et compartiments ordinaires avec cabinets communs pour tous les voyageurs.*

Ce genre de véhicule n'était représenté à l'Exposition que par une seule voiture : celle *à couloir excentré de la Compagnie Française de construction*, qui d'ailleurs peut difficilement subir la comparaison avec les autres, la disposition intérieure n'étant possible qu'à la faveur d'un excès de largeur de 0^{m},330 sur la dimension maxima adoptée en France, largeur admissible seulement sur les lignes espagnoles auxquelles cette voiture est destinée. Elle n'a pas de portières latérales; on y pénètre par deux plates-formes formant terrasses; un couloir légèrement excentré règne d'un bout à l'autre de la voiture. D'un côté, se trouvent quatre compartiments ouverts à quatre places de première classe chacun. De l'autre, trois compartiments, fermés par des portes à coulisses, sont des compartiments de luxe : l'un contient deux places, la nuit comme le jour; les deux autres quatre places, et dans ces derniers deux sièges opposés peuvent se réunir pour former un lit.

Il y a donc en tout douze places de première classe ordinaires, et dix places de luxe le jour ou six la nuit. Enfin, un water-closet avec lavabo est installé dans l'un des angles de la voiture, avec accès du côté de la plate-forme seulement, ce qui a l'avantage d'éviter les émanations dans l'intérieur de la voiture.

2° *Voitures renfermant un ou deux compartiments de luxe, avec aménagements spéciaux à ces compartiments.*

Dans cette subdivision, nous trouvons presque exclusivement des voitures françaises, et de plus, toutes les Compagnies Françaises s'y trouvent représentées. Mais les types de voitures qu'elles ont adoptés diffèrent notablement entre eux. Ainsi, relativement à la place qu'occupe le compartiment de luxe, certaines Compagnies ont adopté l'un des compartiments intermédiaires comme offrant la meilleure position relativement à la sécurité, et à l'influence des chocs et des réactions dans tous les sens : par exemple, la Compagnie de l'Est, celle d'Orléans et celle des Chemins Romains. D'autres ont conservé la situation primitive du coupé aux extrémités de la caisse; ce sont les Compagnies du Nord, de Lyon, de l'Ouest et du Midi.

Compartiment de luxe intermédiaire.

La voiture de la Compagnie de l'Est est divisée en trois compartiments ; les deux extrêmes sont des compartiments de première classe à huit places, mais qui offrent une disposition spéciale : les banquettes, divisées en deux parties, peuvent se tirer en avant, de manière à donner aux sièges une position plus commode pour le sommeil, qui leur permet au besoin de servir de lits. Le compartiment du milieu est le compartiment de luxe ; il comporte cinq sièges, dont trois placés devant l'une des parois peuvent se transformer soit en fauteuils-lits, soit en lits complets ; les deux autres sièges, pouvant se développer pour former chaises longues, sont adossés à la paroi opposée ; entre ces deux derniers, se trouve un tambour contenant lavabo et water-closet. L'ameublement, fort bien entendu, est complété par les matelas, etc., et ustensiles nécessaires pour assurer aux voyageurs occupant les places de luxe tout le confortable possible. Ce véhicule peut donner place à seize voyageurs de première classe et cinq voyageurs de luxe.

La voiture d'Orléans, qui est avec le Sleeping-car la plus longue des voitures exposées[1], comporte deux compartiments de première classe ordinaires, un compartiment de luxe, comprenant toilette et water-closet, et un coupé ordinaire. Les compartiments de première, placés à une des extrémités de la caisse, sont à huit places ; le coupé, à l'autre extrémité, est à quatre places. Le compartiment de luxe, placé dans la partie intermédiaire, renferme trois fauteuils disposés comme ceux de la Compagnie de l'Est et du même système, mais ce compartiment ne comporte pas d'autres sièges, et ne peut, par conséquent, donner place qu'à trois voyageurs de luxe. La voiture comprend en outre vingt places de première classe, dont seize places ordinaires et quatre de coupé.

La voiture à compartiments-lits des Chemins de fer Romains, est à trois compartiments, les deux extrêmes à huit places de première classe chacun, et le compartiment central, de luxe, attenant à un cabinet qui occupe toute la largeur de la caisse et sert à l'installation du cabinet de toilette et du water-closet, plus un vestibule servant à

1. A l'exception des voitures à deux trucks, et des voitures à vapeur.

isoler ceux-ci. Le compartiment de luxe offre la disposition de banquettes donnant sept places pendant le jour. Les deux banquettes opposées, dont la longueur correspond aux trois quarts de la largeur de la caisse, offrent de jour six places, et de nuit deux lits transversaux; le reste du compartiment est occupé d'un côté par la porte de communication avec le cabinet, de l'autre par un fauteuil pouvant se transformer en fauteuil-lit, et qui porte à trois le nombre des voyageurs pouvant dormir dans le compartiment de luxe.

L'entrée se fait d'un côté par une portière entre les deux banquettes, de l'autre par une portière donnant accès dans le petit vestibule.

Voitures avec coupé à l'extrémité.

Dans les voitures dont nous allons nous occuper, les compartiments de luxe sont placés soit à une soit aux deux extrémités de la caisse ; l'un des véhicules de la Compagnie de Lyon et celui du Nord rentrent dans le premier cas; l'autre véhicule de Lyon, celui de l'Ouest et celui du Midi à deux coupés rentrent dans le second.

La voiture de première classe à coupé-lit de la Compagnie de Lyon était à trois compartiments ordinaires de première classe et un coupé-lit, offrant de jour quatre places; la nuit, l'accotoir se relève et la banquette à trois places se tire en avant pour former un lit transversal. La quatrième place reste sans changement : son coussin sert à recouvrir le water-closet simplement disposé dans la banquette au pied du lit. Ainsi cette disposition ne donne place la nuit qu'à un voyageur couché, et à une personne pouvant à la rigueur occuper la quatrième place.

La voiture de première classe du Nord est à trois compartiments, dont deux ordinaires à huit places, et le troisième, placé à l'une des extrémités de la caisse, présente une disposition tout à fait analogue à celle du compartiment de luxe de la voiture de l'Est : trois sièges placés longitudinalement et formant lits, font face à un tambour contenant lavabo et water-closet; mais de chaque côté de ce cabinet, les fauteuils de l'Est sont remplacés par deux strapontins; le nombre des places de luxe du compartiment est ainsi réduit à trois.

Voitures à deux coupés.

La voiture de première classe à deux coupés de la Compagnie de Lyon avait quatre compartiments, dont deux ordinaires de première classe au milieu et deux coupés aux extrémités; l'un est un coupé-lit du type déjà décrit dans la première voiture de la même Compagnie, l'autre comporte trois fauteuils occupant l'emplacement de quatre places ordinaires; les banquettes peuvent, par un mouvement en avant, se transformer en chaises longues complétées par des strapontins. Ce dernier coupé ne comporte pas de water-closet.

La Compagnie de l'Ouest avait exposé une *voiture de première classe, à quatre compartiments*, ceux du milieu étant deux compartiments ordinaires de première classe, à huit places chacun, et les deux extrêmes formant coupés-lits du même modèle que ceux de la Compagnie de Lyon.

Enfin, une voiture à *deux compartiments de première et à deux coupés* était exposée par la *Compagnie du Midi;* les coupés étaient du système à coupés-fauteuils de la Compagnie de Lyon; il est important de faire remarquer que chaque banquette des compartiments de première classe ne comporte que trois places [1] occupant toute la largeur de la caisse, comme cela a lieu dans la majorité des voitures de même classe en Angleterre et en Allemagne. Le nombre des places se trouve ainsi réduit à douze pour les places ordinaires, et six pour les places de luxe.

3° *Voitures comprenant seulement des places ordinaires, mais avec cabinets accessibles à tous les voyageurs.*

Trois voitures de cette catégorie étaient exposées; l'une appartenait à la Compagnie du Midi, en France; une autre aux Chemins de Dalmatie (État autrichien), et la dernière était exposée par les Chemins de l'Etat suédois.

La voiture de première classe de la Compagnie du Midi présente une diposition analogue à celle du Chemin de Gallicie, que nous avons

1. L'application de cette disposition avec trois places par banquette ne paraît pas devoir être continuée par la Compagnie du Midi.

rangée dans la première partie, parce que dans celle-ci les sièges peuvent se transformer en lits, ce qui n'a pas lieu dans la voiture que nous décrivons ; elle comprend trois compartiments de première classe et un compartiment intermédiaire divisé par une cloison en deux cabinets formant chacun lavabo et water-closet. L'un de ces cabinets communique directement au moyen d'une porte avec l'un des compartiments extrêmes ; l'autre cabinet, affecté aux deux autres compartiments, nécessite entre ces derniers une communication qui supprime une place dans chacun d'eux ; une autre place est supprimée dans chaque compartiment voisin d'un cabinet, de sorte que le nombre total des voyageurs dans les trois compartiments est réduit à vingt. Chaque banquette entière comporte quatre places, au lieu des trois places qu'offre seulement la voiture de Gallicie, ou l'autre voiture exposée par la Compagnie du Midi.

La *voiture de première classe* exposée par *la Suède* est à intercommunication. Une portière de chaque côté de la voiture donne accès dans un vestibule, qui communique d'un côté avec un compartiment pour dames à sept places, et de l'autre avec un couloir ; par celui-ci, on pénètre d'un côté dans le lavabo et le water-closet, qui sont séparés ; de l'autre dans un compartiment à quatre places ; au fond dans un compartiment à sept places semblable au premier ; la voiture contient donc en tout dix-huit voyageurs.

Enfin, la *voiture mixte des Chemins de Dalmatie* (*État autrichien*), renferme à une extrémité deux compartiments de deuxième classe à communication ouverte, et accès par une plate-forme ; à l'autre, un compartiment de première classe auquel on arrive par la seconde plate-forme ; un compartiment central, qui communique au moyen de portes avec les deux extrêmes, renferme d'un côté un lavabo et de l'autre un water-closet. La voiture contient seize voyageurs de deuxième classe et six de première classe ; ceux-ci prennent place sur des fauteuils disposés le long des parois de face, et une table complète l'ameublement du compartiment.

B. — VOITURES ORDINAIRES DE TOUTES CLASSES.

Nous ne nous arrrêterons pas à la description de ces véhicules, dont la plupart ne présentent que des dispositions connues depuis longtemps. Nous signalerons seulement :

En France, la *voiture de première classe à quatre compartiments* et la *voiture de deuxième classe à quatre compartiments et à guérite pour garde-frein*, de la Compagnie de l'Ouest; la *voiture mixte pour service d'embranchements* appartenant à la même Compagnie, et comportant à une extrémité un compartiment de première classe à une seule banquette, puis un compartiment de deuxième classe; au centre, un compartiment à bagages; enfin, à l'autre extrémité, deux compartiments de troisième classe, et une guérite pour garde-frein.

La Compagnie de l'Est exposait une *voiture de troisième classe à cinq compartiments*, remarquable à cause des améliorations apportées dans le confortable relatif des voitures de cette classe ; c'est sur cette voiture que se trouvait appliqué l'appareil thermo-syphon, dont il sera question au chapitre du chauffage.

A l'étranger, nous trouvons :

En Autriche, la *voiture deuxième et troisième classe des Chemins d'embranchements de l'État*, dans laquelle trois compartiments de troisième classe communiquant entre eux, sont séparés par une porte du compartiment de deuxième classe ; l'une des banquettes de troisième classe peut être supprimée en hiver pour l'installation d'un poêle; la voiture est munie d'un frein se manœuvrant de l'une des plates-formes.

En Belgique, nous remarquons la *voiture mixte du Grand-Central belge*, contenant un coupé et un compartiment de première classe aux extrémités, et deux compartiments de deuxième classe au milieu ; cette voiture était exposée principalement en vue de montrer l'application de l'appareil Belleroche, dont nous parlerons à l'occasion du chauffage des trains.

Les deux *voitures à vapeur Belpaire*, exposées également par des constructeurs belges, étaient identiques entre elles au point de vue de la distribution. Outre la partie d'avant du véhicule, réservée au moteur, la caisse contient un compartiment à bagages, qu'un couloir transversal sépare des deux compartiments à voyageurs, l'un de deuxième et l'autre de première classe, contenant chacun vingt-deux personnes. Les sièges sont disposés longitudinalement, contre les faces et au milieu. Le compartiment de première classe est en communication avec la plate-forme, sur laquelle peuvent se tenir six personnes debout, plus le garde-frein; ce qui donne un total de cinquante voyageurs.

Enfin, nous mentionnerons ici la *voiture de troisième classe des Chemins de l'État suédois*, dont nous avons déjà parlé, qui comprend trois compartiments de troisième classe, communiquant entre eux; puis un compartiment pour le conducteur, et enfin, deux compartiments formant : l'un toilette, l'autre water-closet, et affectés au service de la voiture de première classe à lits au moyen d'un pont jeté entre les deux plates-formes. Cette disposition exige que les voitures se trouvent toujours réunies; les portes de communication existant dans les cloisons extrêmes des compartiments de troisième classe, sont généralement fermées, et ne seraient utilisées qu'en temps de guerre.

CHAPITRE II.

Détails concernant l'aménagement.

Après avoir indiqué d'une façon générale les dispositions intérieures des différents véhicules exposés, nous appellerons l'attention sur quelques détails intéressants, au point de vue de la commodité ou de la sécurité des voyageurs. La plupart sont d'ailleurs déjà connus, et nous signalons seulement leur généralisation ou leur application sur les véhicules figurant à l'Exposition.

Facilité d'accès. — L'élargissement successif des caisses des voitures a eu pour conséquence de placer les palettes des marchepieds correspondant à chaque portière, presque à l'aplomb des palettes inférieures, dont l'écartement est d'ailleurs limité par les exigences du gabarit[1]; on remédie en partie à cet inconvénient en donnant le plus de galbe possible aux parois de face de la voiture, et en ayant recours à divers expédients, tels que l'encastrement de la portière dans le brancard, ou l'emploi de marchepieds triangulaires, qui facilitent l'emmarchement en permettant de monter obliquement de la première

1. En France la largeur des caisses à la ceinture atteint $2^m,80$; l'écartement maximum des marchepieds inférieurs est de $3^m,10$.

palette sur la seconde ; ces dispositions se trouvaient appliquées sur plusieurs voitures exposées.

On remarque aussi l'addition, dans le but de faciliter l'accès, de poignées montoirs en galon fixées à l'intérieur des portières du côté des charnières, et offrant au voyageur un appui commode pour l'aider à monter.

Garde-mains. — Un perfectionnement très simple, destiné à empêcher les voyageurs de se prendre les doigts dans les portières, consiste à appliquer sur le pied d'entrée du côté des charnières une large bande de bois ou de cuir recouvrant le joint et le dépassant de 10 à 20 millimètres environ ; ces garde-mains sont adoptés par plusieurs Compagnies françaises, par la plupart des Chemins Anglais et Allemands, et la Société des Chemins de l'État autrichien l'emploie depuis 1859.

Châssis de glace. — Diverses précautions sont prises, particulièrement dans les voitures de première classe ou de luxe, pour éviter le bruit des châssis de glace : la plus usitée consiste à entourer de drap ou de velours le cadre du châssis, ou à rapporter sur celui-ci une baguette garnie de velours[1].

Dans les voitures de première classe du Nord et d'Orléans, le châssis est maintenu par des baguettes, qui sont elles-mêmes pressées au moyen de ressorts. La garniture de velours se trouvait appliquée sur les deux voitures exposées par la Compagnie du Midi. La voiture de deuxième classe de la Compagnie de l'Ouest avait également des châssis à baguettes garnies de velours.

Certaines voitures de luxe étaient munies de châssis doubles, le châssis intérieur étant garni de drap et capitonné ; citons par exemple le salon de famille de M. E. Chevalier, et les voitures-salons de la Compagnie de l'Est; cette disposition existe également, mais seulement pour les baies des dossiers, dans les coupés du Nord et de l'Ouest. La double vitre est très répandue en Allemagne ; les voitures à lits du Nord-Autrichien, ainsi que les voitures de première classe de la Suède en sont munies; la voiture première et deuxième de la Dalmatie

1. Disposition appliquée par la Compagnie de l'Ouest, et qui paraît avoir sur la précédente l'avantage d'être moins coûteuse de premier établissement et d'entretien.

avait un châssis double à persiennes, remplacées en hiver par une seconde vitre ; dans le Sleeping-car, et dans la voiture à lits de la Société des Chemins de l'État autrichien, on trouve le double châssis vitré, l'un d'eux étant remplacé en été par une toile métallique pour garantir les voyageurs de la poussière.

Sièges. — Plusieurs dispositions ont été imaginées pour rendre aussi confortables que possible les sièges des voitures de luxe : particulièrement le montage des parcloses sur ressorts, comme dans la voiture du Nord, ou sur boudins en caoutchouc, comme dans celles de l'Ouest ; les sièges et dossiers des voitures d'Orléans et du Midi étaient munis de ressorts de sommier. On remarquait dans la voiture de première et deuxième classe de la Dalmatie des sièges tout en fer, ceux de première classe étant à ressorts et garnis de cuir. Dans la voiture de troisième classe de l'Est, les sièges étaient creux et les dossiers cintrés ; c'est une amélioration notable apportée dans les voitures de cette catégorie, et qui est déjà ancienne à la Compagnie de l'Est.

Accessoires. — On doit signaler encore les accotoirs mobiles, adoptés par toutes les Compagnies françaises, sauf celle de l'Ouest, qui conserve les accotoirs fixes ; l'adoption générale des filets dans les voitures de seconde classe, et l'établissement dans un certain nombre de voitures de troisième classe, de planchettes fixées contre les cloisons de séparation et destinées à recevoir les menus bagages. Dans la voiture de troisième classe de l'Est, des appuie-tête existaient de chaque côté de la place du milieu.

Éclairage. — L'Exposition offre peu de nouveauté sous le rapport de l'éclairage ; la lampe de pavillon classique est toujours usitée en France ; elle a cependant subi des modifications dans certaines voitures ; ainsi dans celle de première classe du Nord, on trouve une lampe à cheminée en verre et à coupe très profonde, faisant saillie dans le compartiment ; dans celle de l'Est est appliqué aussi un nouveau modèle de lampe à coupe de grand diamètre et très peu saillante, produisant un bon éclairage ; cette lampe est adoptée maintenant par la Compagnie de l'Est pour tous les véhicules de son réseau, mais ne figurait pas encore sur la voiture de troisième classe exposée. Les deux voitures de première classe de la Compagnie de l'Ouest, avaient aussi

des lampes de grand modèle. La Compagnie d'Orléans met aujourd'hui deux lampes par compartiment de première classe.

Dans les voitures de troisième classe, dont les cloisons de séparation ne montent pas jusqu'au pavillon, trois lampes suffisent pour éclairer cinq compartiments ; mais dans les voitures de seconde classe à quatre compartiments, ce nombre est certainement insuffisant, parce que les lampes placées à cheval sur les cloisons sont en partie masquées par celles-ci, et peuvent l'être presque complètement par les menus bagages déposés sur les filets.

La Société des chemins de l'État autrichien avait exposé une lampe de pavillon perfectionnée, dont l'éclairage est, paraît-il, très satisfaisant.

Dans les voitures exposées par la Suède, l'éclairage se fait au moyen de lanternes accrochées extérieurement à la caisse, devant l'un des châssis des baies de face.

Enfin, il reste à signaler l'emploi du gaz comprimé pour l'éclairage des voitures. L'Exposition en a montré des applications : 1° sur la voiture de première classe de la Compagnie d'Orléans (cette Compagnie poursuit d'ailleurs ces essais d'éclairage sur la ligne de Paris à Bordeaux) ; 2° sur la voiture-salon de la Haute-Italie, qui était munie de réservoirs contenant une provision de gaz suffisante pour vingt-quatre heures ; 3° sur la voiture-salon du Nord de l'Autriche, dont le dessin figurait à l'Exposition. On sait d'ailleurs que l'éclairage au gaz existe sur certaines lignes en Angleterre et en Allemagne.

CHAPITRE III.

Considérations générales sur le matériel à voyageurs.

Avant de terminer cette troisième partie, nous voulons ajouter quelques observations sur le caractère général que présentaient les voitures exposées.

On a pu voir par ce qui précède que les principales modifications,

qui se sont opérées dans le matériel roulant depuis une dizaine d'années, tant en France qu'à l'étranger, consistent surtout dans les perfectionnements apportés aux types existants, et en améliorations relatives à la bonne construction du matériel et au bien-être des voyageurs. Mais si l'Exposition de 1878 n'a présenté en fait de matériel à voyageurs que des modèles courants, ou dérivés de types consacrés par l'expérience, il aurait peut-être été désirable, à un certain point de vue, de voir, à côté des types classiques que nous connaissons, en France particulièrement, quelques essais d'application de types étrangers : par exemple, de voitures à communication appliquées aux classes ordinaires du matériel, comme en Algérie, en Suisse, etc.

Nous exceptons, bien entendu, les voitures de luxe, pour lesquelles la communication se trouve tout indiquée; elles étaient largement représentées à l'Exposition, ce qui se comprend; mais en somme, elles ne doivent former que la minorité du matériel des Compagnies de chemins de fer.

Pour les voitures ordinaires, les difficultés sont grandes, sans doute, parce que les essais faits dans ce sens ont jusqu'ici rencontré des obstacles provenant surtout de la faible utilisation du poids mort, dès qu'on s'écarte du type ordinaire à compartiments. Mais le problème peut avoir une solution : c'est une étude à faire. Quoi qu'il en soit, si la dernière Exposition ne nous a pas fourni l'occasion d'établir une comparaison entre les différents types, il importait néanmoins de signaler ce point aux ingénieurs de chemins de fer que la question intéresse.

QUATRIÈME PARTIE.

FOURGONS A BAGAGES, WAGONS A MARCHANDISES MATÉRIEL POUR TRANSPORTS SPÉCIAUX.

1° FOURGONS A BAGAGES.

Parmi les véhicules exposés par les chemins de fer étrangers, nous ne trouvons pas de fourgons à bagages ; nous n'aurons donc à parler que des trois fourgons présentés par les Compagnies françaises du Nord, de l'Orléans et du Midi. Nous avons déjà parlé (1re partie) de tout ce qui a rapport au train et au châssis de ces véhicules, reproduisant en général le type adopté par chaque Compagnie. Le reste de la caisse ne présente d'ailleurs aucune disposition bien nouvelle. Nous dirons seulement, sous le rapport de leurs dimensions, qu'à côté du fourgon d'Orléans de grande longueur et d'une hauteur considérable, qui atteint près de 2m,40 intérieurement sur le côté, nous trouvons le fourgon du Nord, beaucoup plus réduit dans tous les sens, et surtout en hauteur, ce qui s'explique d'ailleurs, le type dont il s'agit étant déjà ancien.

Le fourgon du Midi est de dimensions intermédiaires entre les précédentes.

Quant au poids de ces véhicules, il est peu significatif, puisque ce sont en général des fourgons lestés ; nous ferons remarquer cependant le poids et la charge peut-être excessifs du fourgon d'Orléans, qui pèse vide 12 tonnes (y compris le frein Héberlein), et peut porter 6 tonnes de chargement, soit en tout 18 tonnes, ou 9 tonnes par essieu, charge bien considérable pour un véhicule à grande vitesse dont les roues et fusées sont celles des voitures ordinaires dans lesquelles la charge par essieu ne dépasse pas 6t,5. Signalons enfin l'installation dans ce fourgon d'un water-closet avec compartiment d'attente, système déjà employé depuis longtemps par la Compagnie d'Orléans, et essayé également par celle de l'Est. La notice de la So-

ciété Autrichienne indique que tous les trains de voyageurs de ses lignes contiennent un fourgon muni d'une installation semblable.

Chacun des fourgons exposés était muni d'un frein; celui du Nord, du système Lapeyrie avec application du frein à vide, était à quatre sabots articulés sur un longeronnet fixé aux boîtes; celui d'Orléans portait le frein Héberlein dont il sera question au chapitre des freins continus, et était à huit sabots; enfin celui du Midi, également à huit sabots en fonte, était du système Tabuteau, à double genou, avec levier à contrepoids.

Il y avait aussi à l'Exposition un fourgon lesté du Nord, présenté seulement à cause de l'application du frein Stilmant employé depuis longtemps par un assez grand nombre de Compagnies de chemins de fer, tant en France qu'en Belgique et en Espagne.

2° WAGONS A MARCHANDISES ORDINAIRES.

Les wagons à marchandises n'étaient guère représentés à l'Exposition que par la section Française. A l'Étranger, nous ne trouvons que le wagon fermé à marchandises du chemin de fer du Nord-Autrichien, et un autre exposé dans la section Russe. En France, les Compagnies de Lyon, de l'Ouest et du Midi, ont présenté chacune un ou plusieurs spécimens.

Comme wagons plates-formes, celui du Midi est remarquable surtout par sa grande largeur (2^{m},90).

Nous citerons également le wagon plate-forme de M. Entz, dont la particularité est de présenter au milieu du plancher, une plaque tournante reposant sur galets; cette disposition, complétée par un treuil et un pont mobile, est destinée à hisser sur le wagon, par le côté, et sans autre appareil, les véhicules ordinaires chargés, et les tourner ensuite longitudinalement.

La Compagnie de l'Ouest expose un wagon plat à bouts tombants, dont les bords latéraux sont en tôle renforcée par des montants en fer en [et en fer demi-rond rivés longitudinalement. Le remplacement du bois par la tôle, qui donne une plus grande largeur libre intérieure, et la longueur du véhicule portée à 6^{m},50 ont permis d'atteindre le chargement de dix tonnes, même en marchandises légères.

La Compagnie de l'Ouest a exposé aussi un wagon-tombereau dont les parois très hautes sont à claire-voie vers la partie supérieure, dans

le but de recevoir dix tonnes en chargement de natures très diverses. Une disposition spéciale de plaques de tôle a été prise pour renforcer les pieds d'entrée, qui ont à résister à une grande fatigue, et les relier aux pieds intermédiaires de la caisse. Ce véhicule porte une guérite extérieure surplombant sur le plancher, et un frein à vis.

La Compagnie de Lyon avait exposé un wagon à houille qui offre comme particularité une charpente de caisse en fer, les montants ayant la section dite *fer à barrot;* les seules parties en bois sont les frises des bouts et côtés ainsi que le plancher. Le véhicule est muni d'un frein à vis dont la manivelle est placée à l'extrémité de la caisse.

Enfin, nous avons à signaler trois wagons couverts : l'un exposé par la Compagnie de l'Ouest et destiné au transport des chevaux et des bestiaux, n'offre pas de particularité nouvelle, si ce n'est une très faible saillie intérieure de la guérite, et la couverture métallique de la toiture, que la Compagnie de l'Ouest applique à tout son matériel. Ce wagon est à guérite et à frein. Le second, appartenant à la Compagnie du Nord-Autrichien, avait la caisse entièrement en bois, sauf cependant les consoles des pieds d'entrée et corniers en fonte, et les courbes de pavillon en fer à T. Ce wagon était muni du frein à chaîne du système Becker, dont il sera parlé au chapitre des freins continus.

Enfin le troisième wagon couvert, exposé dans la section Russe, n'était présenté qu'en vue d'une application spéciale, dont le but était de pouvoir faire circuler le véhicule sur la voie russe et sur la voie européenne [1]. A cet effet, l'une des roues n'est pas calée sur son essieu, sur lequel elle est montée à frottement ; le moyeu de cette roue porte vers l'intérieur une rainure circulaire ; un manchon faisant partie de l'essieu porte deux rainures semblables, dont la distance correspond à la différence de largeur des deux voies ; enfin un collier en deux parties boulonnées, pénètre dans ces rainures et maintien la roue dans la position voulue.

3° MATÉRIEL POUR TRANSPORTS SPÉCIAUX.

Le matériel que nous désignons sous cette dénomination était représenté à l'Exposition par les spécimens suivants :

1. La voie russe a $1^m,524$ de bord en bord ; la voie allemande, $1^m,435$, et la voie française, $1^m,440$ à $1^m,450$: les mêmes véhicules circulent sur la voie allemande et sur la voie française.

1° Bureau ambulant de l'administration des postes françaises, exposé par M. E. Chevalier;

2° Wagon-poste et fourgon-poste accouplés, circulant sur les lignes de l'État autrichien ;

3° Wagon pour le transport de la bière (Société autrichienne des Chemins de l'État);

4° Wagon pour le transport de la viande (Chemin de fer Charles-Louis de Gallicie);

5° Wagon-réservoir Lepage, pour le transport des vins et alcools (Compagnie française de construction).

On conçoit que chacun de ces véhicules répondant au besoin spécial pour lequel il a été créé, il n'y ait aucune comparaison à établir entre eux; nous dirons donc successivement quelques mots de chacun d'eux; en renvoyant, pour plus de détails, à l'étude spéciale qui en a été faite d'autre part[1].

1° *Bureau ambulant des postes françaises.* — Ce véhicule reproduit la disposition connue des wagons-poste français; il appartient au plus grand modèle employé par le service des postes. Nous signalerons comme particularité de ce véhicule la disposition de *l'accouplement*, sorte de soufflet placé sur la paroi extrême en dehors d'une porte ménagée dans le dossier, et destiné à s'accoupler avec un appareil identique que porte un wagon-poste voisin; ce système combiné avec un pont volant permet d'établir la continuité entre les deux véhicules, lorsqu'un seul est insuffisant pour les besoins du service. Les soufflets sont disposés de telle façon qu'ils peuvent se replier, ainsi que le pont de communication, dans le cas où le wagon devrait circuler isolément.

2° *Wagon-poste et fourgon-poste accouplés des lignes de l'Etat autrichien.* — Ces deux véhicules, destinés à un service de même genre que les précédents, sur les lignes autrichiennes, en diffèrent en ce qu'ils sont inséparables dans le service courant. Le wagon-poste ne présente aucune porte si ce n'est celle par laquelle il communique, au moyen d'un soufflet et d'un petit pont, avec le fourgon. C'est seulement par les deux portes latérales de ce dernier véhicule que l'on peut

1. Étude de M. Salomon, sur le matériel français. — Notice de M. Kremer sur les wagons étrangers pour transports spéciaux.

pénétrer dans le premier. L'invariabilité de l'accouplement a permis de réduire à $0^{m},24$ seulement l'intervalle entre les deux caisses. Nous remarquons que le wagon comporte deux compartiments, dont l'un, servant de cabinet de toilette avec water-closet, renferme un poêle. Le fourgon est muni d'une guérite et d'un frein à vis à huit sabots. Le wagon et le fourgon portent chacun sous le châssis une caisse supplémentaire destinée à recevoir des paquets. L'aménagement de ces véhicules, leur solidarité, indiquent qu'ils répondent à un service chargé pour lequel un seul d'entre eux serait constamment insuffisant, dans des pays où l'administration des postes fait une grande partie du service des petits paquets.

3° *Wagon pour le transport de la bière* (*Société autrichienne des Chemins de l'État*). — Le transport pendant l'été de la bière, des viandes et autres denrées qui supportent difficilement un long parcours à l'époque des fortes chaleurs, exige des wagons d'un aménagement spécial. Celui dont nous nous occupons, destiné au transport de la bière, présente partout des parois doubles, remplies de paille hachée et très sèche. Les portes roulantes pour le chargement de la bière ferment hermétiquement. La température intérieure est maintenue au degré voulu au moyen de glace renfermée dans des réservoirs placés au-dessous du pavillon, et que l'on peut remplir par des ouvertures ménagées dans celui-ci. Une charge de glace de 1500 kilog. maintient l'air à 5 degrés environ, et peut durer suivant la température extérieure de 8 à 15 jours,

4° *Wagon pour le transport de la viande* (*Chemin de fer Charles-Louis de Gallicie*). — Dans ce véhicule, les réservoirs à glace sont logés dans une caisse plus étroite qui surmonte celle du wagon. Les parois sont doubles comme dans le précédent, et remplies également de paille hachée, y compris le plancher et le pavillon. Le chargement de glace s'effectue de la même façon.

Une particularité de ce véhicule est la disposition adoptée pour le renouvellement de l'air : l'appareil se compose essentiellement d'un ventilateur placé sous la caisse, et actionné par une courroie prenant son mouvement sur l'un des essieux ; puis de deux serpentins en fer étiré, disposés sur le fond des réservoirs à glace ; le ventilateur est employé à produire une circulation d'air dans ces serpentins ; l'air ainsi

refroidi pénètre dans la caisse par un tube fendu longitudinalement, ce qui permet d'obtenir une bonne répartition. Cette disposition ingénieuse permet ainsi un renouvellement d'air à basse température, condition essentielle pour la conservation de la viande pendant un long trajet.

5° *Wagon-réservoir Lepage.* — En terminant ce chapitre, nous dirons quelques mots du wagon-réservoir exposé par la Compagnie française de construction de matériel, et construit sur les plans de M. Lepage. Ce véhicule, établi dans le but de transporter de grandes masses de liquide dans un seul réservoir, se compose d'un cylindre en tôle abrité par une caisse en bois de la forme ordinaire employée pou les wagons couverts. Le cylindre, en tôle étamée, de 10 à 11^{mc} de capacité, est surmonté d'une bouteille alimentaire, destinée à maintenir constamment plein le réservoir. Un tube en verre indiquant le niveau du liquide, une pompe aspirante et foulante permettant la vidange ou le remplissage, complètent l'installation.

Ce véhicule paraît bien étudié dans ses dispositions, et semble avantageux pour les transports importants de vins et d'alcools; l'emploi de ce genre de matériel a d'ailleurs pris une certaine extension depuis quelques années.

CINQUIÈME PARTIE.

VÉHICULES POUR TRAMWAYS ET MATÉRIEL POUR CHEMINS DE FER A VOIE ÉTROITE.

I

Véhicules pour tramways.

Les voitures pour tramways ont fait l'objet d'une description spéciale dans une étude jointe au dossier des voitures et wagons; le présent chapitre a pour but de faire connaître les dispositions particulières

qui caractérisent ce genre de véhicules, apparaissant pour la première fois sur une grande échelle dans une Exposition universelle française [1]. Nous y joindrons également quelques renseignements sur le matériel pour chemins de fer à voie étroite figurant à l'Exposition.

Nous adopterons dans ce résumé le même ordre que nous avons suivi dans l'étude des voitures et wagons, c'est-à-dire, que nous passerons successivement en revue le train des véhicules de tramways, le châssis, la caisse, au point de vue de sa construction et de ses dispositions.

1° TRAIN DES VÉHICULES DE TRAMWAYS.

Essieux montés. — Les véhicules de tramways exposés [2] ont en général des roues en fer à bandages rapportés; ces roues sont de type à moyeu en fer, à rayons droits, ou du type dit: *en étoile*. Il faut en excepter cependant les voitures américaines et la voiture portugaise qui avaient toutes des roues en fonte; ces trois genres de roues étant du reste les seuls que l'on rencontre sur les voitures de tramways figurant à l'Exposition.

Les boîtes d'essieux sont toujours à huile, et de types connus.

Nous citerons seulement comme particularité la boîte à galets du système Belou [3], disposition qui a été depuis longtemps essayée sous bien des formes, dans le but de diminuer le frottement dû aux fusées, mais qui n'a jamais en pratique répondu au résultat que l'on pouvait en attendre.

Passage dans les courbes. — En parlant des essieux de tramways, nous placerons ici quelques considérations sur les dispositions employées ou essayées dans le but de faciliter le passage des voitures dans les courbes souvent très roides des lignes de tramways [4].

En général, on se contente de maintenir les essieux parallèles à un faible écartement: 1m,80 à 1m,50, et quelquefois moins, en laissant

1. C'est ce caractère de nouveauté qui a motivé le développement et l'extension que nous avons donnés à cette partie du rapport.

2. Voir la classification générale des voitures de tramways exposées, au chapitre concernant la disposition des caisses.

3. Appliquée sur la voiture des tramways de Roubaix à Tourcoing.

4. Le rayon descend souvent à 20 ou 25 mètres.

aux boîtes à graisse un jeu suffisant dans les plaques de garde. Cependant, il y avait à l'Exposition quelques voitures munies de systèmes spéciaux, telles que la voiture des tramways bruxellois, construits par la Société belge de Nivelle, qui portait des *boîtes radiales*, avec un écartement d'essieux de 2^{m},50. M. Larsen a essayé, dans la voiture qu'il a exposée, de résoudre le problème du passage dans les courbes au moyen de trois essieux portant chacun un petit châssis spécial; les deux extrêmes, écartés de 3^{m},72, pivotent autour de leur centre comme dans un avant-train, et celui du milieu peut subir, par l'effet même de la courbe, un déplacement latéral; chaque essieu porte une flèche, celle du milieu étant articulée aux deux autres qu'elle entraîne, de sorte que le déplacement latéral de l'essieu médian a pour effet de produire la convergence des essieux extrêmes.

Enfin, nous citerons le système employé par la Compagnie des Omnibus de Paris, dont une des voitures-tramways était exposée. La voiture, non symétrique, est à deux essieux écartés de 2^{m},40, et munis de boudins seulement d'un seul côté; elle porte un avant-train ordinaire avec timon. Cet avant-train est rendu fixe pendant la majeure partie du parcours, les courbes ne descendant pas, en général au-dessous d'un rayon de 40 mètres. Lorsque les changements de direction de la voie obligent à des courbes plus roides, un déclenchement à la portée du cocher permet d'obliquer le timon et l'avant-train, et les roues circulent alors sur les quatre rails distincts; le rayon de la voie en ces points spéciaux est d'environ 14 mètres; il descend à 7 mètres dans les *boucles-terminus*, qui permettent à la voiture de se retourner aux deux extrémités du parcours. Il est bon de noter que les deux roues d'un même côté du véhicule sont folles sur leur axe, à cause de la grande différence de parcours des roues d'un même essieu; ce sont ces roues folles qui sont dépourvues de boudins[1].

Ressorts de suspension et de traction. — Les véhicules américains[2] se distinguent de ceux qui sont construits en Europe par leur suspension, qui consiste toujours en boudins ou poires de caoutchouc interposés entre le châssis et une traverse reliée à la boîte à graisse.

1. La suppression des boudins est faite non seulement en vue de faciliter le passage dans les courbes, mais encore pour éviter les coincements dans une voie dont la largeur constante est difficile à obtenir.

2. Y compris celui du Portugal.

Quant aux véhicules français et belges, ils ont des ressorts à lames ordinaires. La voiture de la Société suisse avait des ressorts à boudins en acier, remplaçant les poires en caoutchouc employées en Amérique.

Attelage. — Dans un certain nombre de voitures, l'attelage se fait au moyen d'une cheville, qui retient le palonnier à une armature fixée directement au châssis. Dans d'autres, cette armature fait partie d'une tige de traction agissant sur le châssis par l'intermédiaire de rondelles en caoutchouc, afin d'atténuer l'effet des coups de collier ; dans les véhicules du système Delettrez, la traction est sèche, mais le palonnier, formé de lames d'acier, constitue un véritable ressort. Sur la voiture construite par la Société suisse, nous remarquons que la barre de traction est articulée en un point situé à 1 mètre environ en arrière de l'extrémité de la plate-forme : cette disposition a sans doute pour but de diminuer la tendance à une déviation trop forte du véhicule dans les courbes, en rapprochant de son centre le point où s'exerce l'effort de traction : cette précaution est d'ailleurs indispensable dans le cas de la traction mécanique pour éviter la torsion qui résulterait de l'inégale déviation de la voiture et de la machine dans les courbes.

Châssis. — Nous trouvons peu de châssis tout en fer : ceux de la voiture de la Société suisse et de celle de la Société belge, sont les seuls exemples figurant à l'Exposition; leurs brancards étaient faits en tôle et fers spéciaux ayant la forme d'une poutre ajourée. Les châssis mixtes, les plus nombreux, ont en général leurs brancards en fer, les traverses de tête en fer ou en bois, et le reste du châssis en bois. Les voitures du système Delettrez, offrent comme particularité l'emploi pour la construction des brancards d'un fer en T spécial, qui participe des conditions de résistance du fer en [en offrant de plus dans l'angle supérieur, une attache facile des brancards de caisse ; les traverses extrêmes sont en fer en [, et les traverses intermédiaires et croix de Saint-André. Dans la voiture des Tramways de Milan, construite par M. Morel Thibaut, les brancards et traverses de tête sont en fer en [, les autres traverses et les croix de Saint-André en chêne. D'ailleurs, dans cette voiture, les montants de caisse, les battants de pavillon et les limons droits des escaliers forment un ensemble, qui contribue à augmenter la rigidité des brancards. Enfin, dans la voi-

ture ouverte construite par la Société belge, les brancards sont en fer I, et le reste du châssis en bois.

Comme châssis tout en bois, on trouve : ceux de tous les tramways américains [1], ceux de la voiture de la Compagnie des Omnibus de Paris, et de la voiture de M. Larsen.

L'emploi du fer semble bien justifié dans la construction des châssis de tramways, au moins pour les brancards. Le faible écartement des essieux, et la longueur très modérée des ressorts constituent pour les brancards un porte à faux considérable en dehors des points d'appui extrêmes, et si l'on ajoute à cela que ces véhicules ont presque toujours aux extrémités deux plates-formes assez fortement chargées, on comprendra dans quelle condition mauvaise se trouvent les brancards en bois, qui ont toujours une tendance à se cintrer en bombant vers le centre.

Frein. — Pour terminer ce qui a rapport au train des véhicules de tramways, nous dirons que tous sont munis d'un frein, du genre américain et qui diffère du reste assez peu d'un véhicule à l'autre; ils sont tous mus par une chaîne qui s'enroule sur un arbre vertical portant une manivelle à la disposition du conducteur, qui se tient sur la plateforme. Il faut excepter toutefois le frein de la voiture de la Compagnie des Omnibus, qui, en raison de la charge assez considérable des roues d'arrière (les seules enrayées), et de la position du cocher sur un siège élevé, est un puissant frein à vis présentant une série de leviers destinés à transmettre le mouvement en dissimulant complètement les organes de la transmission.

1. Y compris la voiture des tramways portugais, dont les brancards portaient des armatures longitudinales en fer, se prolongeant pour soutenir les plates-formes.

2° CAISSES DES VÉHICULES DE TRAMWAYS.

Tableau indiquant la classification des voitures de tramways exposées.

VOITURES SYMÉTRIQUES FERMÉES SANS IMPÉRIALE.

1.	Voiture des tramways de Roubaix à Tourcoing	Delettrez.
2.	— — du département du Nord	Delettrez, Morel-Thibaut.
3.	— — de Strasbourg	Société suisse de Neuhausen.
4.	— — bruxellois	Société belge de Nivelle.
5.	— — portugais	Nassarellos (Porto).
6.	Voiture pour tramways	Stephenson (États-Unis).
7.	Voiture achetée pour les tramways de Berlin	Brill (Philadelphie).

VOITURES SYMÉTRIQUES FERMÉES A IMPÉRIALE.

8.	Voiture achetée pour les tramways North-Metropolitan (Londres).	Stephenson.
9.	Voiture des tramways de Paris (réseau sud)	Delettrez.
10.	Voiture à essieux convergents	Larsen.

VOITURE SYMÉTRIQUE OUVERTE SANS IMPÉRIALE.

11.	Voiture ouverte sans impériale	Société belge.

VOITURE SYMÉTRIQUE OUVERTE A IMPÉRIALE.

12.	Voiture des tramways de Milan	Morel-Thibaut.

VOITURES NON SYMÉTRIQUES FERMÉES SANS IMPÉRIALE.

13.	Voiture automobile (système Mékarski)	Delettrez,
14.	Voiture de tramways pour un seul conducteur	Stephenson.

VOITURE NON SYMÉTRIQUE FERMÉE A IMPÉRIALE.

15.	Voiture des tramways de la Compagnie des Omnibus de Paris.	Cie des Omnibus.

Disposition générale et construction des caisses. — Au point de vue de la disposition de la caisse, nous diviserons les voitures de tramways en plusieurs catégories ; elles peuvent être *symétriques* ou *non symétriques*, *fermées* ou *ouvertes*, *avec* ou *sans impériale*. Cette classification est indiquée par le tableau qui précède.

Les voitures symétriques sont celles dont les deux extrémités sont identiques et permettent l'attelage indifféremment dans les deux sens, sans qu'il soit nécessaire de tourner la voiture aux stations extrêmes. C'est le cas le plus général des véhicules exposés ; la non-symétrie, que l'on remarque seulement sur trois d'entre eux était commandée pour chacun par un motif spécial. Ainsi, la voiture automobile des Tramways de Nantes porte *à l'avant*, le moteur à air comprimé du système Mékarski. La voiture à un seul conducteur de Stéphenson, pour tramways à faible trafic, exige par sa disposition même une plate-forme spéciale réservée au conducteur. Enfin, la voiture de la Compagnie des Omnibus, qui dérive de l'ancien type Loubat, dit : *voiture américaine*, diffère essentiellement de toutes les autres par sa disposition ; le siège du cocher des *omnibus* ordinaires a été conservé à l'avant, à la hauteur de l'impériale. Les deux premiers types doivent se tourner sur plaques tournantes ; le troisième emprunte le système de *boucles-terminus* dont nous avons déjà parlé.

Les voitures sont fermées ou ouvertes suivant qu'elles sont destinées à un service d'hiver ou d'été, ou à un climat qui permet de faire usage exclusivement de l'un ou de l'autre type. C'est ainsi que les véhicules destinés à l'exploitation des Tramways de Paris sont tous fermés, tandis que celui des Tramways de Milan, par exemple, était complètement ouvert.

Quand à l'adoption de l'impériale, c'est purement une question de trafic, et elle sera généralement motivée dans les grandes cités où la circulation est très active, comme Londres ou Paris, tandis que les tramways sans impériale, légers, et pouvant être traînés par un seul cheval pourront dans beaucoup de cas donner lieu à une économie d'exploitation.

Accès des voitures. — Plates-formes. — Les voitures de tramways sont caractérisées par l'existence d'une plate-forme à chaque extrémité de la caisse : dans les voitures non symétriques, l'une d'elles est supprimée, ou bien est réservée spécialement au conducteur. Les plates-formes contiennent en général un certain nombre de voyageurs debout : quatre au minimum, souvent cinq ou six, et jusqu'à huit, dix et douze, surtout dans les tramways belges ou américains, dans lesquels le nombre des places debout n'est pas limité. L'accès a lieu au moyen de deux escaliers latéraux placés de chaque côté des plates-

formes, les faces d'avant et d'arrière devant rester fermées à cause de l'attelage ; une disposition plus satisfaisante, employée également, consiste à placer les escaliers aux quatre pans coupés d'angles, ce qui facilite la montée et la descente pour les voyageurs. Dans les voitures à impériale, les deux entrées aux extrémités de l'une des diagonales de la caisse sont supprimées, de façon à pouvoir installer sur la plate-forme la retombée d'escalier.

Enfin, sur certaines voitures non symétriques, comme la voiture automobile, et celle de la Compagnie des Omnibus, on a pu placer les marches à l'arrière de la plate-forme. Il n'y avait à l'Exposition qu'une seule voiture pour laquelle l'accès ne se fît pas par les plates-formes : c'est la voiture ouverte sans impériale de la Société belge, qui portait de chaque côté des palettes régnant sur toute la longueur et donnant accès entre les banquettes, qui sont disposées transversalement et adossées deux à deux.

Disposition des sièges. — La disposition transversale des sièges se retrouve également à l'intérieur de la voiture ouverte des Tramways de Milan, mais avec couloir longitudinal au milieu. Sauf dans les deux exemples précédents, les banquettes intérieures sont toujours disposées longitudinalement, et adossées contre les faces.

La voiture des tramways bruxellois est divisée intérieurement en deux classes par une cloison transversale ; c'est la seule, à l'Exposition, présentant cette particularité.

Aménagement intérieur. — Les garnitures des sièges et dossiers sont généralement en drap, surtout dans les voitures françaises, mais souvent aussi les sièges sont formés de lamelles de bois espacées, particulièrement dans les voitures ouvertes ; quelquefois de planches galbées percées de trous, comme dans la voiture portugaise et celle de Brill de Philadelphie ; le velours et la moquette se rencontrent, mais plus rarement.

Les glaces de dimensions ordinaires sont généralement mobiles sur les faces, c'est-à-dire sur les parois latérales de la caisse, et toujours fixes sur les dossiers, ou parois extrêmes. Les petits châssis mobiles sont quelquefois remplacés sur les faces par de grandes glaces fixes, qui ont pour avantage la suppression radicale du bruit des vitres et des courants d'air provenant des fenêtres ; dans ce cas le lanterneau avec

ventilateurs, qui existe d'ailleurs sur certaines voitures à châssis mobile, devient ici indispensable pour le renouvellement de l'air; la voiture portugaise rentrant dans cette catégorie, ne possédait cependant que des ventilateurs sur les baies de faces, ce qui paraît insuffisant.

La plupart des voitures sont munies de stores, ou quelquefois de rideaux, au moins sur les baies de faces; les voitures Stéphenson portaient des doubles châssis, l'un à glace, l'autre avec persiennes.

L'éclairage de l'intérieur de la caisse se fait presque toujours par l'arrière des lanternes de dossier placées aux extrémités d'une même diagonale. Les voitures américaines ont un éclairage beaucoup plus satisfaisant, produit par l'addition d'une grosse lampe en saillie sur le plafond; cette disposition a été imitée par M. Delettrez dans sa voiture des Tramwvays Sud de Paris, et par M. Larsen dans sa voiture à trois essieux; la voiture ouverte de la Société belge était éclairée par deux lampes saillantes dans le plafond.

Les caisses, à l'extérieur, sont presque toujours garnies de panneaux en tôle; cependant quelques voitures américaines avaient des panneaux en bois peint ou verni, et même des panneaux en carton.

Disposition des voitures à impériale. — Sur quinze véhicules de tramways exposés, cinq étaient à impériale; l'une des voitures Stéphenson (North-Metropolitan), celle de M. Larsen, la voiture des Tramways réseau Sud et celle de la Compagnie des Omnibus de Paris avaient une impériale régnant sur toute la longueur de la caisse, avec sièges adossés, et passages au-dessus des auvents des plates-formes; l'accès a lieu par un escalier tournant, prenant son point d'appui sur la plate-forme.

La voiture d'été des Tramways de Milan (Morel-Thibaut), présente une disposition différente; les escaliers sont droits et dirigés dans le sens longitudinal; les auvents des plates-formes, solidement soutenus, sont occupés par des sièges doubles semblables à celui qui règne sur la partie médiane de la voiture, et séparés de celui-ci par des passages facilitant la circulation.

Les banquettes d'impériale sont généralement formées de lamelles de bois espacées, et les dossiers d'une simple barre. Cependant la voiture à impériale de Stéphenson, présentait une disposition de sièges articulés se relevant d'eux-mêmes au moment où le voyageur se lève;

ces sièges sont garnis de velours rouge, que cette disposition met à l'abri des intempéries.

Utilisation dans les voitures de tramways. — Poids mort ; nombre de places. — Il serait intéressant de comparer les diverses voitures de tramways au point de vue de l'utilisation de l'emplacement, particulièrement par la comparaison du poids mort par voyageur ; malheureusement, plusieurs constructeurs ont négligé d'indiquer le nombre de places et le poids des voitures qu'ils exposaient, et, de plus, les éléments si variés qui entrent dans la question enlèvent à ce rapport une grande partie de sa signification ; ainsi dans certaines voitures, le nombre de places debout est considérable par rapport à celui des places assises ; dans d'autres, on a compté pour les plates-formes un nombre de places véritablement exagéré, en y ajoutant même les voyageurs qui peuvent se tenir debout à l'intérieur. De plus, les voitures ne sont nullement comparables au point de vue de la place attribuée à chaque voyageur assis. Malgré ces divergences, on peut établir que le poids mort par voyageur dans les voitures fermées est généralement compris entre 50 et 60 kilos ; la voiture des Omnibus donne 61 kilos, mais il faut remarquer que les voyageurs y sont bien à l'aise, et que le nombre des places debout est seulement de six, pour quarante-deux assis. Dans les voitures ouvertes, le poids mort descend à 42 kilos pour celle de la Société belge, et au même chiffre pour celle de M. Morel-Thibaut ; nous remarquerons toutefois que dans cette dernière, tous les voyageurs sans exception sont assis.

Nous rappellerons, comme terme de comparaison avec un type bien connu, que le chiffre correspondant pour l'omnibus de Paris à vingt-huit places est de 61 kilos. — Ces chiffres, relativement bas, prouvent que la question si intéressante du poids mort a préoccupé les constructeurs, et d'ailleurs nous pouvons dire en résumé que les véhicules de tramways, qui font leur première apparition dans une exposition universelle française[1], attestent en général d'un grand soin apporté à la construction en vue de donner aux voyageurs le confortable que l'on peut désirer dans des voitures de ce genre, tout en cherchant à rem-

1. Si on excepte le petit véhicule exposé en 1867, par Stéphenson, de New-York, pour un tramway dans l'Inde.

plir les conditions pouvant assurer la plus grande économie dans la traction.

II

Matériel pour chemins de fer à voie étroite.

Les véhicules de cette catégorie étaient peu nombreux à l'Exposition ; les chemins de fer à voie étroite n'ont pas encore pris, dans les pays qui nous entourent, une importance qui ait motivé une étude approfondie de la question, au moins pour ce qui regarde le matériel roulant ; aussi ne trouvons-nous que quelques véhicules exposés par les constructeurs, en France, M. E. Chevalier, la Compagnie française de construction de matériel, et MM. L. et E. Delettrez ; à l'étranger, les ateliers de la Dyle (Belgique) ; en tout six véhicules.

1° Voitures à voyageurs. — Deux voitures à voyageurs étaient exposées : elles répondaient chacune à un cas spécial, et différaient d'ailleurs totalement l'une de l'autre.

La première, exposée par M. E. Chevalier, était destinée au chemin de fer à voie de 1 mètre de Pernambuco (Brésil)[1]. La grande longueur de la caisse (12 mètres) et les courbes de faible rayon que cette voiture doit franchir ont conduit à adopter le système *américain*, c'est-à-dire à monter la caisse sur deux trucks à quatre roues. Les châssis des trucks et celui de la voiture sont entièrement métalliques : ce dernier comporte quatre longerons en fer I. La caisse, en teak apparent verni, est accessible par deux plates-formes situées aux extrémités ; elle n'est pas divisée en compartiments : les sièges, disposés transversalement, laissent un passage longitudinal qui permet de circuler d'un bout à l'autre de la voiture ; l'installation comporte également un water-closet et un siège pour le garde-frein. Les sièges, qui sont à deux places d'un côté de la voiture et à une place de l'autre côté, sont à dossier mobile permettant de s'asseoir dans un sens ou dans l'autre. Un lanterneau règne sur toute la longueur de la caisse. Le nombre total des places est de trente-six.

1. La Compagnie de Fives-Lille avait étudié et exposé une locomotive à avant-train destinée à cette ligne.

Une autre voiture était exposée par la Compagnie française de construction; elle reproduit les dispositions généralement adoptées pour les voitures de tramways, et n'en diffère que par la largeur de la voie qui est de $0^{m},75$, et par l'attelage qui est à tamponnement et attelage central, comme celui de la voiture précédente, et en général de tous les véhicules à voie étroite. La caisse est divisée en deux compartiments, l'un de première, l'autre de deuxième classe.

2° Wagons à marchandises. *Wagon à toiture mobile pour voie de* $0^{m},75$. — Ce wagon a été étudié et construit par la Compagnie française, et fait partie du même matériel que la voiture précédente ; il est monté, comme celle-ci, sur un châssis en fer. Sa particularité consiste dans la mobilité de la toiture, composée de panneaux qui peuvent s'enlever pour effectuer certains chargements ou déchargements.

Wagon plat à tamponnement et attelage central automatique. — Ce véhicule, étudié par MM. Delettrez, n'offre comme point spécial que la disposition de l'attelage, qui s'effectue automatiquement par le simple tamponnement des véhicules.

Enfin, les ateliers de la Dyle (Belgique), ont exposé un *wagon couvert* et un *wagon ouvert à voie de 1 mètre*, destiné à un chemin de fer de l'Amérique du Sud. Ces véhicules, à châssis entièrement métallique, sont munis d'un attelage central, comme les précédents, et sont remarquables pour la faible proportion de la tare au chargement.

Nous avons déjà dit que le matériel à voie étroite est représenté à l'Exposition par un trop petit nombre de spécimens pour permettre une comparaison sérieuse entre les différents types, comparaison qui ne pourra être faite que quand le développement des chemins de fer de cette catégorie aura pris assez d'extension pour donner lieu à des études plus complètes de la question.

SIXIÈME PARTIE.

QUESTIONS DIVERSES SE RATTACHANT A L'ÉTUDE DU MATÉRIEL ROULANT.

CHAPITRE PREMIER.

Chauffage des trains.

La question du chauffage des voitures de chemins de fer ayant été traitée dans un mémoire spécial qui se trouve au dossier[1], nous ne donnerons ici qu'un court résumé des différents systèmes de chauffage qui figuraient sur des voitures exposées, et des plus importants de ceux représentés par des dessins.

Classification des différents systèmes de chauffage.

Nous diviserons les différents systèmes en deux catégories :

A.— Ceux qui exigent la solidarité de toutes les voitures d'un train.

B. — Ceux pour lesquels cette solidarité n'est pas nécessaire.

A. — SYSTÈMES N'EXIGEANT PAS LA SOLIDARITÉ DE TOUTES LES VOITURES D'UN TRAIN.

a). Chauffage par l'eau chaude.

1° *Chauffage par chaufferettes mobiles*. — C'est le chauffage adopté depuis longtemps par les Compagnies françaises, et qu'aucun autre système n'est venu encore supplanter. Mais l'extension qui en a été faite depuis quelques années en France aux voitures de deuxième et de troisième classe a motivé l'adoption, au moins dans les gares prin-

1. Note de M. Kremer sur les différents modes de chauffage qui figurent sur les véhicules exposés en 1878.

cipales, d'un mode de réchauffage particulier. Quatre des grandes Compagnies[1] emploient l'injection de vapeur dans les chaufferettes qui, à cet effet, sont rangées sur des chariots spéciaux, au nombre de vingt à vingt-quatre sur chacun, de façon que leurs ouvertures correspondent à autant de tuyaux d'injection de vapeur faisant partie de l'appareil réchauffeur. Les chariots et les appareils diffèrent suivant les Compagnies, mais le principe est le même; la Compagnie de l'Est emploie cependant un système différent, qui consiste à placer les chaufferettes non débouchées sur une *noria*, qui descend verticalement dans une citerne remplie d'eau, qu'une injection de vapeur amène à une température voisine de 100°. Quelques minutes d'immersion suffisent pour ce réchauffage, plus expéditif que les précédents.

2° *Circulation d'eau chaude dans des chaufferettes fixes.* — Ce système est celui de l'appareil dit : *à thermo-siphon*, que nous trouvons exposé sur la voiture de troisième classe de l'Est français. L'appareil se compose : 1° d'une petite chaudière en fonte à foyer intérieur fixée contre l'un des brancards; le tuyau de fumée traverse la voiture entre deux compartiments; 2° d'une canalisation de départ formée de deux séries de tuyaux en fer; 3° de chaufferettes en fonte, encastrées dans le plancher dans l'axe de chaque compartiment, et dont l'une des extrémités communique avec la canalisation de départ; 4° d'une canalisation de retour, communiquant avec l'extrémité opposée des chaufferettes, et se rendant à la partie inférieure de la chaudière. L'appareil est complété par un vase d'expansion. Ce système de chauffage est en essai depuis plusieurs années sur les lignes de la Compagnie de l'Est, et il semble jusqu'ici avoir donné de bons résultats.

3° *Circulation d'eau chaude dans une simple conduite.* — Ce mode de chauffage est appliqué à deux des voitures de luxe exposées : dans le Sleeping-car, c'est une petite chaudière à foyer intérieur placée dans le compartiment de service, qui fournit l'eau chaude à une conduite de départ longeant le couloir longitudinal de la voiture, ainsi que la conduite de retour; le vase d'expansion, placé sous le pavillon, sert à fournir de l'eau chaude aux cabinets de toilette.

Dans la voiture Pulmann, c'est un poêle dans lequel se trouve plongé un serpentin; au sommet s'embranche le tuyau de départ, qui,

1. Le Nord, l'Ouest, l'Orléans et le Lyon.

après être monté près du pavillon, redescend et longe un des côtés de la voiture, tandis que le tuyau de retour longe le côté opposé et revient au bas du serpentin.

Le chauffage isolé paraît motivé, dans ces deux voitures de luxe, dont la première doit généralement voyager seule dans un train, et porter par conséquent tous ses aménagements ; quant aux voitures Pulmann, elles ne doivent, par leur nature même et leurs dimensions, entrer qu'en petit nombre dans la composition d'un train, et par suite les objections contre le chauffage isolé perdent beaucoup de leur importance.

b). Chauffage par l'air chaud.

1° *Poêle simple placé dans l'intérieur de la voiture.* — Ce mode de chauffage ne convient évidemment qu'aux voitures dont tous les compartiments communiquent entre eux; aussi le voyons-nous adopté par la Société des Chemins de l'État autrichien pour ses voitures de troisième classe. Le poêle est placé dans la cloison séparant deux compartiments; il est à double enveloppe, l'air entrant par la partie inférieure et sortant par des ouvertures ménagées à la partie supérieure.

A l'Exposition, le bureau ambulant des postes autrichiennes était chauffé par un simple poêle placé dans le compartiment de service, et la voiture mixte deuxième-troisième classe des Chemins d'embranchements de l'État autrichien par un poêle mobile, occupant en hiver l'emplacement d'une banquette de troisième classe.

2° *Poêle placé extérieurement à la caisse, avec conduites d'air chaud pour les compartiments.* — Ce genre de chauffage, qui paraît particulièrement appliqué sur les Chemins autrichiens, était représenté à l'Exposition par plusieurs dessins détaillés.

Dans les voitures mixtes première-deuxième classe de l'État autrichien, le poêle, fixé sous le châssis, est entouré d'une enveloppe dans laquelle circule l'air qui s'échauffe et se rend par des conduits spéciaux dans les divers compartiments, où se trouvent des caisses en tôle formant récepteurs de chaleur. Le combustible employé est la houille; les produits de la combustion sont évacués par une cheminée placée entre deux compartiments.

Appareil Thamm et Rothmuller. — Cet appareil est employé par les

Chemins du Nord de l'Autriche pour les voitures de toutes classes. Le poêle est disposé sous le châssis comme le précédent ; l'air chauffé entre le poêle et l'enveloppe se rend dans les compartiments au moyen de deux conduits. Ici, le combustible se charge d'une manière particulière : il est d'abord placé dans un panier en fer, et allumé ; puis le tout est introduit dans le poêle. La cheminée est également placée entre deux compartiments. L'appareil est complété par un ventilateur disposé sur le pavillon de la voiture, et qui forme, par le mouvement même du train, éjecteur aspirant.

Appareil à briquettes, appliqué par la Société des Chemins de l'État autrichien pour le chauffage des voitures-salons. Il se compose, comme les précédents, d'une sorte de poêle placé sous les brancards, avec enveloppe dans laquelle circule l'air qui se rend, après s'être échauffé au contact des parois de l'appareil, dans les divers compartiments au moyen de conduits terminés par des bouches de chaleur. Le combustible est ici formé de briquettes composées de charbon de bois mélangé de salpêtre ; ces briquettes sont introduites allumées dans une caisse en tôle percée de trous que l'on place elle-même dans le poêle. L'appareil peut fonctionner 15 heures environ sans l'intervention d'aucun employé : il était appliqué à la voiture-lits des Chemins de l'État autrichien.

B. — SYSTÈMES EXIGEANT LA SOLIDARITÉ DE TOUTES LES VOITURES DU TRAIN.

a). Circulation de vapeur fournie par la locomotive.

Ce système de chauffage était appliqué sur la voiture de première classe du Chemin de fer Charles-Louis de Gallicie exposée. L'appareil se compose : 1° d'une prise de vapeur sur la chaudière, avec détendeur pour réduire la pression à 3 kilos environ ; 2° d'une canalisation formée de tubes en fer étiré placés sous chaque voiture, et dont les jonctions sont faites au moyen de tuyaux en caoutchouc ; 3° de tuyaux de chauffe, placés sous chaque banquette, et reliés par des branchements à la conduite principale. L'eau de condensation s'écoule automatiquement par une soupape disposée dans le raccord en bronze qui

réunit les tuyaux de caoutchouc. Le mécanicien envoie de la vapeur dans les tuyaux de chauffe; une valve de réglage est à la disposition des voyageurs.

b). Chauffage par l'air chauffé par la vapeur.

Appareil Lillienhook. — Cet appareil était exposé sur les voitures de l'État suédois. Il consiste en une série de tuyaux en fer de fort diamètre ($0^{m},10$), placés longitudinalement sous chaque véhicule, et entourés d'une série d'anneaux en fonte destinés à augmenter la surface de chauffe. Ces tuyaux sont logés dans des coffres en bois, hermétiquement clos. Dans les tuyaux, réunis par des raccords en caoutchouc, circule la vapeur provenant soit de la locomotive, soit d'un générateur spécial placé dans le fourgon; elle est réduite comme dans l'appareil précédent à la pression de trois atmosphères. Dans les coffres, pénètre l'air extérieur par des trous percés dans la paroi du fond; cet air s'échauffe au contact des tuyaux de vapeur et se rend dans les compartiments par des orifices ménagés dans le plancher; le coffre en bois est divisé par des cloisons transversales correspondant aux divers compartiments; l'eau de condensation se rend dans un réservoir en fonte placé à l'extrémité de chaque voiture, et s'écoule par une soupape que l'on ouvre à la main, ou qui dans certaines dispositions se soulève automatiquement comme dans l'appareil précédent.

c). Chauffage par circulation d'eau chaude.

Système Belleroche. — Il nous reste enfin à parler du système de M. Belleroche, appliqué à la voiture exposée par la Compagnie du Grand-Central belge.

Le système, comme le dit l'inventeur, consiste à refouler dans un circuit placé sous les pieds des voyageurs et partant du tender pour revenir au tender, un jet d'eau réchauffée et aspirée par un injecteur quelconque.

L'eau qui a circulé dans le train retourne dans le tender, ou se rend directement en partie à l'injecteur de chauffage, en partie à celui d'alimentation de la chaudière. Ce mode de chauffage exige deux tuyaux de raccords en caoutchouc entre chaque véhicule du train.

Quant aux récepteurs de chaleur, ce sont des chaufferettes divisées par une cloison et parcourues moitié par l'eau de départ, moitié par l'eau de retour. Chaque voiture est munie de purgeurs affectés à la vidange des chaufferettes.

Nous n'avons pu, dans le court résumé qui précède, que rappeler sommairement les principaux systèmes de chauffage des trains figurant à l'Exposition. Pour les questions de détails, et particulièrement pour la question si intéressante en matière de chauffage du prix de revient, on devra consulter les ouvrages spéciaux qui traitent de cette matière [1], et l'on trouvera d'utiles renseignements dans la Note sur le chauffage des trains, déposée au dossier [2].

CHAPITRE II.

Freins continus [3].

L'application des freins continus au matériel des Chemins de fer, qui était encore à l'état d'essais isolés lors de l'Exposition de 1867, s'est poursuivie activement depuis lors, surtout à l'étranger. L'Exposition de 1878 nous montre que cette question a fait de grands progrès, sans cependant être encore tranchée en faveur d'aucun système déterminé.

Les divers dossiers réunis par la Section des voitures et wagons, donnent des détails assez complets, tant au point de vue des descriptions que des essais auxquels ils ont donné lieu ; nous nous bornerons ici à quelques remarques générales sur cinq des principaux systèmes exposés, savoir :

1° Frein à chaîne, système Héberlein ;
2° Frein à chaîne, système Becker ;
3° Frein électrique, système Achard;
4° Frein à air comprimé, système Westinghouse;
5° Frein à vide, système Smith-Hardy;

1. Voir particulièrement l'ouvrage de M. Regray : *Chauffage des voitures de toutes classes sur les Chemins de fer.*
2. Note sur les différents systèmes de chauffage des trains présentés à l'Exposition, par M. Kremer.
3. Voir dans les dossiers une note résumée remise par M. J. Morandiere.

1° *Frein Héberlein.* — Un frein du système Héberlein était monté sous le fourgon exposé par la Compagnie d'Orléans, et il est représenté sur le dessin déposé au dossier. La pression d'un galet sur l'essieu tend une chaîne qui règne sous plusieurs wagons dont elle actionne les freins. Ce système s'applique le plus souvent à des groupes formés de trois où quatre voitures ; pour en faire un frein continu, c'est-à-dire s'appliquant à tous les véhicules d'un train, il faut multiplier le personnel ou bien agir à distance sur les déclenchements, au moyen de cordes régnant sur toute la longueur du train.

Dans ce dernier cas, s'il se trouve dans le train des groupes de freins non accompagnés par un agent, il faut que le conducteur du train se rende successivement desserrer les divers freins. Pendant l'Exposition, une nouvelle disposition a été produite, possédant la qualité d'être automatique[1]. Le frein Héberlein n'est plus alors, dans son principe, très différent de celui que nous allons décrire.

2° *Frein automatique Becker.* — Le frein exposé dans la section Autrichienne, par M. Becker, ingénieur en chef de la Compagnie du Chemin du nord Empereur-Ferdinand, utilise comme le précédent la force vive du train pour produire l'arrêt[2]. Le serrage du frein est obtenu par l'action d'un galet muni d'une couronne à friction, et qui vient en contact avec le bandage.

Ce système diffère des modèles de frein Héberlein, qui ont été créés avant lui, en ce que chaque véhicule porte un galet maintenu hors de contact avec la roue par la tension d'une chaîne générale. Sitôt que la tension est détruite, volontairement ou accidentellement, le frein se met en prise. Le frein est donc automatique.

Un autre avantage de l'adoption d'un galet sur chaque véhicule consiste en ce que la chaîne actionnant les leviers du frein est spéciale à chacun d'eux, et que les chaînes exerçant le faible effort de soulèvement des galets sont les seules pièces à accoupler de wagon à wagon.

D'après M. Becker, le frein doit être continu pour les trains de voyageurs, et disposé par groupes de trois ou quatre wagons pour les trains de marchandises.

1. Cette disposition est aujourd'hui à l'essai au Chemin de fer d'Orléans.
2. Ce frein était appliqué sur le wagon à marchandises du Nord-Autrichien. — Voir les dessins remis au dossier.

3° *Frein électique Achard.* — Le frein électrique de M. Achard était exposé, monté sur un châssis de wagon, dans l'Annexe de la classe 64 au Trocadéro. Le mécanisme de serrage présente une notable simplification sur la disposition exposée en 1867. Ce frein n'est pas automatique, et l'action de serrage ne peut être graduée à volonté.

Jusqu'à ce jour, les difficultés ou irrégularités inhérentes à l'emploi de l'électricité font que le système n'est pas encore sorti de la période des essais. Les expériences, entreprises d'abord sur la ligne du Nord, sont continuées aujourd'hui sur le train rapide de Paris à Avricourt (Compagnie de l'Est).

4° *Frein à air comprimé Westinghouse.* — Le frein à air comprimé du système Westinghouse figurait à l'Exposition sur plusieurs véhicules. Il nous est arrivé en Europe de l'étranger suffisamment perfectionné pour que son application ait pu être immédiatement décidée : 1° sur l'ensemble des lignes de l'État belge ; 2° sur l'ensemble du matériel des lignes de banlieue de la Compagnie de l'Ouest français [1].

Son mode de fonctionnement, soit comme frein non automatique, soit comme frein automatique, se trouve décrit en détail dans un Mémoire spécial accompagné de nombreux dessins déposé au dossier de la Section des voitures et wagons [2].

Les partisans du frein Westinghouse automatique, seule forme représentée à l'Exposition, et appliquée en France, sont d'avis que la présence de la pompe de compression d'air sur la locomotive, et de la triple valve sur chaque véhicule, est compensée par la disposition même du système qui est telle que le mécanicien est averti automatiquement de *tous* les dérangements qui peuvent se produire dans les freins de l'ensemble du train.

En outre, les appareils employés sont relativement légers.

5° *Frein Smith-Hardy.* — Le frein à vide système Smith a été introduit, il y a environ deux années, sur le Chemin de fer du Nord français, et après une courte période d'essais, l'extension de son application a été décidée en principe.

Pendant ce temps, les essais faits sur les lignes du Sommering et

1. Depuis l'Exposition, l'application du frein Westinghouse aux trains express a été décidée par la Compagnie de l'Ouest.
2. Ce mémoire a été rédigé par M. Lecocq.

du Brenner ont conduit M. Hardy, ingénieur de la Compagnie du Sud de l'Autriche, à breveter le remplacement des sacs de caoutchouc primitifs par une disposition de piston ou diaphragme en cuir qui semble plus solide, et qui tend à se répandre.

Une note de la Compagnie du Nord donne le mode de fonctionnemente de ce frein (dont elle avait exposé les dispositions sur plusieurs véhicules), ainsi que le compte rendu des essais auxquels il a donné lieu. Parmi les principaux avantages réclamés pour ce système de frein, nous trouvons énumérés : 1° la simplicité de l'*appareil éjecteur* placé sur la machine et destiné à produire le vide; 2° la simplicité de l'appareil appliqué aux véhicules; 3° la possibilité d'une graduation facile du serrage.

Par contre, le poids des appareils placés sur les voitures est plus considérable que le poids des appareils du système à air comprimé.

Le frein à vide Smith n'est pas automatique; néanmoins la Compagnie du Nord, dont les trains sont pourvus d'une communication électrique, système Prudhomme, a réalisé une ingénieuse liaison entre cette communication et le frein, de telle sorte que le serrage peut se produire en cas de rupture d'attelage, mais seulement sur la partie rattachée à la locomotive [1].

Pour rendre le frein à vide automatique par lui-même, M. Hardy a imaginé une disposition qui introduit un réservoir de vide sur chaque véhicule, mais il reconnaît qu'on renonce alors à la condition de simplicité primitive de l'appareil, et à la possibilité de graduer le serrage; cette dernière disposition était représentée à l'Exposition seulement par un modèle pour la démonstration.

1. Disposition complémentaire qui est due à MM. Delebecque et Bandérali.

BORDEREAU GÉNÉRAL

DES PIÈCES CONTENUES

dans les Dossiers de la Section d'étude du Matériel roulant.

A L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1878

Dossier O.

(Pièces relatives aux travaux de la section d'étude).

a. — Rapport de la section chargée de l'étude du matériel roulant des chemins de fer et tramways à l'Exposition universelle de 1878, par M. H. Vallot, secrétaire-rapporteur.

b. — Bordereau général des pièces contenues dans les dossiers de la section d'étude. — (Le présent bordereau.)

c. — Procès-verbaux résumés des séances de la section ; répartition du travail entre les membres de la commission, etc.

Dossier A.

(Mémoires rédigés par les membres de la section).

a. — Étude sur le matériel à voyageurs et à marchandises présenté à l'Exposition, par les Compagnies et les constructeurs français, par M. L. Salomon.

b. — Notes, par M. Kremer.

1° Sur le matériel étranger figurant à l'Exposition ;

2° Sur le matériel pour transports spéciaux ;

3° Sur les différents modes de chauffage des voitures dans les trains à voyageurs.

c. — Étude sur les voitures de luxe françaises et étrangères, par M. G. Bontemps. (Ce Mémoire n'a pas été remis par l'auteur.)

d — Notes sur les véhicules de tramways exposés, par MM. L. Rey et H. Vallot.

e. — Note sur les différents systèmes de freins continus figurant à l'Exposition, par M. J. Morandiere.

f. — Note sur le serrage des freins à air comprimé, système Westinghouse, par M. E. Lecocq.

g. — Tableaux des principales conditions d'établissement des véhicules exposés dans la Section française (2 tableaux), par M. H. Fellot.

Dossier B.

(Matériel appartenant aux grandes Compagnies de chemins de fer français).

A. — Compagnie du chemin de fer du Nord.

a. — Notice sur les objets exposés (1 brochure avec planches).
b. — Notice sur les appareils pour wagon de secours (1 brochure avec planches, 2 exemplaires).
c. — Collection de dessins comprenant :
1° Fourgon à bagages avec frein Lapeyrie et frein à vide (1 dessin).
2° Voiture de 1re classe à coupé-lit et cabinet de toilette, avec frein à vide (1 dessin).
3° Conditions de montage de la voiture précédente (1 dessin).
4° Appareil servant à la vérification des essieux montés avant leur mise en service (1 dessin).
5° Fosse servant à régler le parallélisme des essieux et le montage des plaques de garde (1 dessin).
6° Appareil servant à peser les quatre angles d'une voiture (1 dessin).
7° Compas destiné à mesurer l'usure des coussinets (1 dessin).

B. — Compagnie des chemins de fer de l'Ouest.

a. — Renseignements divers sur le service du matériel et de la traction.
b. — Notice sur les objets exposés par la Compagnie (2 exemplaires).
c. — Notice sur les objets appartenant à la Compagnie et exposés par divers établissements de construction (2 exemplaires).
d. — Note sur le mode d'essai des bandages adopté par la Compagnie (2 exemplaires).
e. — Collection de planches annexées au dossier, comprenant :
1° Voiture de 1re classe à deux coupés; ensemble de la caisse (2 pl.).
2° Voiture de 2e classe; ensemble de la caisse (1 planche).
3° Voiture de 2e classe à frein en V et guérite, châssis (1 planche).
4° Voiture de 2e et 3e classe à frein; guérite à escalier double (2 pl.).
5° Wagon couvert à frein en V et guérite (2 planches).
6° Wagon-tombereau à frein en V, guérite (1 planche).
7° Wagon plat à bouts tombants (1 planche).
8° Essieu monté pour voiture; moyeu en fer, centre en bois (1 pl.).
9° Chaufferette pour voitures (1 planche).
10° Appareil à réchauffer l'eau des chaufferettes (1 planche).
11° Montage d'un frein à air comprimé Westinghouse (1 planche).
12° Wagon-tombereau à frein à levier et wagon couvert à volets (2 petits dessins.

C. — Compagnie du chemin de fer d'Orléans.

Notice sur les objets exposés.

1 Calque au $\frac{1}{50}$ de la voiture de 1re classe exposée (plan).

D. — Compagnie des chemins de fer du Midi.

a. — Notice sur les appareils exposés.
b. — Dimensions principales et poids d'un fourgon à bagages et d'un wagon plate-forme, types du Midi.
c. — Note sur la voiture AA *z* — n° 2 (avec un diagramme).
d. — Collection de dessins comprenant :
1° Vue d'ensemble de la caisse. — Voiture AA *z* — n° 2.
2° Montage du châssis. Id.
3° Montage du plafond. Id.
4° Roues Brunon avec remplissage en bois.
5° Fourgon à bagages.
6° Wagon plate-forme.

E. — Compagnie des chemins de fer P.-L.-M.

a, *b*, *c*. — Notices sur les trois locomotives exposées par la Compagnie.
d. — Appareil pour le chauffage des bouillottes.
e. — Appareil à essayer les divers modes de graissage.
f. — Appareil à essayer les métaux.
g. — Appareil à peser l'excentricité des roues et essieux montés.
h. — Machine à vapeur pour ateliers de levage.
k. — Voiture-salon à six roues.
l. — Voiture de 1re classe à coupé-lit et coupé-fauteuils-lits.
m. — Wagon à houille.
n. — Tricycles à bagages.
o. — Pièces de détail exécutées dans les ateliers de la Compagnie.

F. — Compagnie des chemins de fer de l'Est.

a. — Notice sur les objets exposés (1 brochure).
b. — Notice sur un wagon d'expériences (1 brochure avec planches).
c. — Notice sur une voiture de 1re classe à compartiment central avec cabinet de toilette et w.-c.
d. — Notice sur une voiture de 3e classe avec appareil de chauffage.

Dossier C.

(Matériel appartenant à diverses Compagnies de chemins de fer étrangers).

A. — Autriche-Hongrie.

1. Catalogue des produits de l'Autriche (1 vol. annexé au dossier).
2. Notice sur les objets envoyés à l'Exposition par la Société I.-R.-P. des chemins de fer de l'État (1 brochure avec planches, 2 exemplaires).
3. Deux dessins au $\frac{1}{20}$ du wagon-lit exposé par la Société I.-R.-P.

4. Notice sur les objets exposés par le chemin de fer du Nord-Ferdinand (2 brochures, dont une de planches).
5. Observations relatives à divers appareils exposés par le chemin de fer du Nord.
6. Notice sur les objets exposés par L. Becker (Chemin de fer du Nord).
7. Données statistiques et description des objets exposés par la Société I.-R.-P. du chemin de fer Élisabeth.
8. Wagon-poste et fourgon-poste accouplés des lignes de l'État (1 planche, 2 exemplaires).

B. — Belgique.

1. Notice sur les objets exposés par la Compagnie belge de construction du matériel (1 brochure, 3 exemplaires).
2. Chauffage des trains de chemins de fer, système Belleroche (1 brochure avec planches).
3. Attelage de wagons se manœuvrant par le côté, système Peny et Mabille (1 brochure avec planches, 3 exemplaires).
4. Voiture mixte de la Compagnie du Grand-Central belge (1 diagramme).
5. Quelques données sur les voitures de la Compagnie Grand-Central belge.
6. Notes sur les wagons construits par les ateliers de la Dyle, avec 2 dessins et conditions d'établissement d'un wagon ouvert, et d'un wagon fermé à voie de 1 mètre, construits et exposés par ces ateliers.

C. — Suède.

1. Statistique officielle de l'exploitation des chemins de fer de Suède (1 volume avec une carte).
2. Voiture de 1re classe à couloir latéral des chemins de l'État suédois (1 planche, 2 exemplaires).
3. Voitures de 1re classe à w.-c., et de 3e classe mixte de l'État suédois (2 diagrammes avec notes).
4. Lanternes pour voitures à voyageurs (1 dessin).
5. Appareil de chauffage, système Lillienhook (1 brochure, 3 exemplaires).

D. — Italie.

1. Société des chemins de fer romains. Voiture de 1re classe à compartiment-lit (3 dessins).
2. Chemins de fer de la Haute-Italie. Voiture-salon (1 diagramme).
3. Chemins de fer de la Haute-Italie. Voiture Pulmann (4 dessins).

E. — Amérique.

Wagon en tubes de fer étiré, système Lamothe (notes de l'exposant).

Dossier D.

(Matériel exposé par divers établissements de construction français et étrangers).

Ce dossier renferme principalement des renseignements sur les véhicules pour tramways et pour chemins de fer à voie étroite).

A. — Matériel exposé par M. E. Chevalier.

a. — Note sur les ateliers de construction de M. E. Chevalier, et sur les produits exposés.

b. — Tableaux des dimensions principales et poids de véhicules exposés :
- 1° Bureau ambulant des Postes françaises.
- 2° Voiture de famille.
- 3° Voiture à couloir et à deux trucks (voie de 1 mètre).

c. — Collection de dessins :
- 1° Accouplement de deux bureaux ambulants (2 dessins).
- 2° Voiture à couloir et à deux trucks (2 dessins).

B. — Matériel exposé par divers constructeurs.

a. — Compagnie française de matériel.
Notice sur :
- 1° Une voiture à couloir excentré.
- 2° Wagon et charrette réservoir, système Lepage.
- 3° Voiture et wagon à marchandises pour voie de 0m,75.

b. — Compagnie générale des Omnibus de Paris :
- 1° Voiture de tramways (1 planche annexée au dossier).
- 2° Détails de l'essieu monté (1 dessin).

c. — L. et E. Delettrez.
- 1° Notices sur divers types de voitures pour tramways et matériel pour chemins de fer à voie étroite.
- 2° Collection de 16 dessins annexés au dossier, et relatifs à ces véhicules.

d. — M. Morel-Thibaut.
Voiture de tramway à impériale (1 dessin avec légende explicative).

e. — M. J.-D. Larsen.
Voiture de tramway à six roues à essieux convergents (1 planche, plusieurs exemplaires).

f. — Société Industrielle Suisse de Neuhausen.
Divers types de voitures pour tramways (4 dessins).

C. — Renseignements sur quelques systèmes de freins continus.

a. — Frein à air comprimé, système Westinghouse.
- 1° Un album représentant les diverses pièces du frein, dessins et descriptions (2 exemplaires).
- 2° Collection de renseignements divers relatifs à ce système.

b. — Frein à vide, système Smith-Hardy.
Renseignements divers.

c. — Frein à embrayage électrique, système Achard.
Renseignements divers.

Dossier E.

(Documents relatifs aux voitures de luxe).

a. — Renseignements statistiques relatifs à la circulation des voitures de luxe sur les grands réseaux français. (Notes remises par les six grandes Compagnies.)

b. — Dimensions intérieures, aménagement, poids et prix des voitures de luxe exposées. (Cette collection de renseignements se compose des réponses au questionnaire adressé par M. Vidard, aux divers exposants.)

c. — Wagons-salons et trains de cérémonie non exposés :

1° Wagons-salons et trains de cérémonie, appartenant aux grandes Compagnies de chemins de fer français.

Nord : 1 calque, — Orléans : 2 calques. — Midi : 3 calques. — P.-L.-M. (1 dessin annexé au dossier). — Est : 1 calque.

2° Voitures de luxe construites par la maison E. Chevalier (8 dessins).

3° Wagons-salons construits dans les usines de Pantin. — Société Desouches, David et Cie (3 calques).

4° Voitures de luxe et trains de cérémonie construits par les chantiers de la Buire (1 notice, six dessins).

d. — Notes particulières de M. Vidard, sur les voitures de luxe.

NOTE

SUR LA

DISTILLATION DES TÉRÉBENTHINES

PAR M. GARDÉ.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.

L'industrie française des produits résineux, qui a son siége principal dans les départements de la Gironde et des Landes, subit, depuis quelques années, une crise ruineuse dont la cause reconnue est la concurrence des produits similaires de l'Amérique du Nord.

Pour sortir d'une telle situation, on ne peut employer que deux moyens : les tarifs protecteurs et les progrès de fabrication.

Le premier moyen, qui consiste à élever le prix des produits sur le marché intérieur, serait inefficace puisque nos produits résineux sont exportés en majeure partie ; il n'y a pas lieu de s'y arrêter. Le second, qui consiste à diminuer le prix de revient des produits et à améliorer leur qualité est, au contraire, d'une efficacité toujours certaine ; on doit s'appliquer à le réaliser.

Le prix de revient comprend deux éléments : les frais de fabrication et le prix d'achat de la matière première.

Nous ferons remarquer que celui-ci est descendu, chez nous, à son extrême limite, parce que, d'après l'organisation du travail, les conséquences de la crise industrielle sont réparties également sur la rente foncière et les salaires des colons, soumis au régime du métayage. Le salaire ne peut descendre au-dessous d'un minimum en rapport avec les exigences de la vie locale ; or, le taux des journées ne dépassant guère 1 fr. 50, ce minimum est atteint ; de sorte que toute nouvelle

réduction du prix de la matière brute équivaudrait à mettre les métayers en demeure d'abandonner la culture.

C'est donc exclusivement sur le mode de fabrication que doit être basée la diminution du prix de revient.

La qualité des produits, toutes choses égales, résulte aussi des procédés suivis pour la fabrication.

Par suite, la nécessité de réformer la méthode actuelle de traitement des matières résineuses s'impose, sous peine de laisser tarir dans notre pays une source assez importante de production.

Cette réforme est indispensable, non seulement pour conserver une industrie spéciale, mais encore pour maintenir, par celle-ci, l'équilibre économique de la région des Landes de Gascogne.

Du jour où la récolte des résines serait délaissée, une notable partie de la population agricole de ces contrées se déplacerait, car l'exploitation forestière n'exige qu'un nombre de bras relativement restreint, et la faible étendue des terres arables, l'absence de manufactures, ne permettraient pas de retenir l'excédent.

D'autre part, la propriété foncière éprouverait une forte dépréciation et la portion correspondante du capital agricole serait détruite.

Ces considérations sommaires montrent tout l'intérêt qui s'attache à l'objet de cette étude, dont le programme peut s'énoncer comme il suit :

I. *Discussion.* — Établir les conditions dans lesquelles doit s'effectuer la distillation ;

II. *Eléments numériques.* — Déterminer les diverses quantités qui résultent de ces conditions ;

III. *Exemple d'application.* — Rapporter ces données à un cas pratique de fabrication et comparer les frais d'établissement et de marche avec ceux du système actuel.

IV. *Conclusion.*

I

DISCUSSION.

Exposé succinct. — Le produit naturel appelé térébenthine, abstraction faite des impuretés physiques qu'il renferme, est une dissolution plus ou moins concentrée de résine sèche ou colophane dans l'huile essentielle.

Ces deux substances ayant leur usage distinct dans les arts, il s'agit de les séparer. A cet effet, on soumet la térébenthine à la distillation : l'essence se dégage par vaporisation ; la résine sèche reste comme résidu.

Principe scientifique. — La méthode générale pour la préparation des essences prescrit de soustraire les parties des plantes qui les contiennent à la haute température produite par le feu direct, afin d'éviter l'altération des composés fixes et volatils.

Objection. — Au sujet de la térébenthine, des tentatives nombreuses ont été faites pour employer le chauffage par la vapeur, mais toujours sans succès. L'opération languissait sans donner aucun résultat appréciable : on a conclu à l'insuffisance de température et à l'innocuité du chauffage à feu nu.

Réfutation. — Cette contradiction à la règle énoncée n'est qu'apparente ; un phénomène nouveau est intervenu.

On ne devait pas se borner, en effet, à substituer purement et simplement la chaleur de la vapeur à celle du feu nu sans s'inquiéter ni de l'intensité de cette chaleur, ni de la durée de son action, car il est acquis que l'action prolongée d'une température modérée altère certains produits organiques autant qu'une chauffe énergique pendant un temps plus court. Il faut, dit M. Payen, « s'attacher dans les opérations de ce genre, surtout aux moyens de diminuer la température et le temps. »

ous avons vérifié la nécessité de cette double condition, pour la

térébenthine, par trois expériences comparatives : l'avantage revient à la combinaison d'une température moyenne avec une durée réduite.

L'observation des faits confirme ce résultat :

En ce qui concerne le temps, une preuve pratique de son influence est fournie depuis plusieurs années par la supériorité relative du système mixte de distillation (chauffage direct et courant de vapeur) sur le système ordinaire (chauffage direct et injection d'eau). On conçoit, et c'est ce qui arrive, que par une injection de vapeur d'eau formée, sous pression, dans un générateur séparé, au lieu d'une injection d'eau qui se vaporise irrégulièrement dans l'alambic, la durée de l'opération se trouve notablement abrégée, le chauffage à feu nu et la disposition de l'appareil étant identiques.

Quant à la température, son influence devient évidente chaque fois que, soit par négligence, soit par erreur, l'ouvrier chargé de conduire la distillation n'injecte pas la quantité de vapeur ou d'eau en rapport avec l'intensité variable de son feu.

Les conclusions générales formulées par M. Payen sont donc applicables à la térébenthine ; en conséquence, le système rationnel de distillation est celui qui permettra l'emploi d'une température modérée tout en assurant à l'opération une grande rapidité.

Nous allons examiner comment ces conditions seront satisfaites :

1° On sait que l'injection d'eau ou de vapeur facilite la distillation ; mais, faute d'en apprécier la cause, on a cru qu'une température de chauffage de 160 à 180° était indispensable pour obtenir la vaporisation complète de l'essence.

Cela serait exact s'il s'agissait de distiller de l'essence seule ; il n'en est plus de même, du moment qu'elle se trouve au contact de l'eau qui se vaporise ou qu'elle est traversée par un courant de vapeur d'eau. Les deux liquides, eau et essence, n'ayant pas entre eux d'action dissolvante sensible, la loi de Dalton nous apprend qu'il y a mélange des vapeurs avec addition de leurs forces élastiques, et, par suite, distillation du liquide le moins volatil (l'essence) à une température voisine du point d'ébullition du liquide le plus volatil (l'eau), c'est-à-dire, dans l'espèce, peu éloigné de 100°.

C'est ce qui se passe naturellement tant que la térébenthine contient, en proportion suffisante, de l'eau de végétation ; mais comme cette eau, en quantité trop faible relativement à l'essence, s'épuise avant que la

distillation soit terminée, on est obligé d'y suppléer par un apport de liquide volatil sous forme d'injection d'eau ou mieux de courant de vapeur.

A 100° sous la pression moyenne,

La tension de la vapeur d'eau est.. .	76
La tension de la vapeur d'essence. . .	13
Total.	89

Le mélange possédera donc bientôt un excès de force élastique capable de vaincre les résistances que la présence de la matière poisseuse dissoute oppose à la vaporisation.

Ainsi, la première condition imposée : appliquer une basse température, peut être remplie.

2° La durée de la distillation est en rapport inverse de la quantité de calorique transmise dans l'unité de temps, et la transmission du calorique se ramène du produit des deux facteurs variables :

Surface de chauffe $\times$ *excès de température.*

Une diminution de l'excès de température sera donc compensée par une augmentation de surface de chauffe. D'où il résulte, que pour remplir la seconde condition imposée : abréger la durée de l'opération, il suffit de développer convenablement la surface de chauffe effective.

Nous disons « effective » parce que la térébenthine étant un liquide épais, la chaleur se répartit mal dans la matière lorsqu'elle est chauffée à la manière des liquides ordinaires. — Cet effet est d'autant plus prononcé que la température de chauffe est plus faible et donne au liquide moins de fluidité. — Pour que la surface de chauffe soit bien utilisée il faut multiplier dans toute la masse les foyers de transmission, de façon que chaque tranche liquide d'une certaine épaisseur ait son chauffage propre.

État de la vapeur d'injection. — A sa sortie du générateur, la vapeur contient une quantité souvent considérable d'eau entraînée ; d'autre part il s'en condense une partie dans les tuyaux. Il importe de séparer l'eau de la vapeur, avant d'introduire celle-ci dans l'alambic, afin d'éviter une vaporisation supplémentaire contraire à la rapidité de la distillation aussi bien qu'à l'économie de marche.

Ce séchage s'opère en intercalant dans la conduite, le plus près possible de l'alambic, un récipient dans lequel le courant de vapeur est brisé. L'eau qui se dépose est évacuée par un purgeur automate.

II

ÉLÉMENTS NUMÉRIQUES.

Température de chauffe. — Il faut porter la matière à la température strictement nécessaire pour la rendre parfaitement liquide, afin que l'efficacité du courant de vapeur soit assurée. L'expérience ayant indiqué qu'une température d'environ 130° suffit, la chauffe pourra être fournie par la vapeur d'eau saturée à la pression absolue de 4 atmosphères.

Tension de la vapeur d'injection. — La vapeur injectée doit posséder une tension peu supérieure à la pression atmosphérique, c'est-à-dire, comprise entre 1 atmosphère et 1 atmosphère et demie, afin d'éviter les projections et l'entraînement de résine sèche qui se produiraient, sous un excès de pression élevé, indépendamment de la fluidité du bain. Pour obtenir la tension convenable, malgré les variations continuelles de la pression au générateur, on se servira d'un détendeur automate ou régulateur de pression.

Dépense de vapeur. — Elle se décompose en deux parties :

1° Vapeur condensée par le chauffage;

2° Vapeur injectée.

Les calculs devraient être basés sur la composition moyenne de la térébenthine; nous supposerons, au désavantage de la dépense de vapeur, une teneur plus forte en éléments volatils, soit :

Eau.	0,10
Essence..	0,25
Résine sèche.	0,65
	1,00

Nous admettons, en outre, que la térébentine est prise à la tempéra-

ture de 80° dans un bac de réserve réchauffé par les eaux de condensation.

1° Vapeur consommée par le chauffage.

L'injection de vapeur réalise constamment, pour l'essence, l'hypothèse de saturation : 0,10 d'eau et 0,25 d'essence seront donc vaporisés à une température voisine de 100° ; 0,65 de résine sèche passeront de 80 à 130°.

Les tables de M. Regnault donnent :

DÉSIGNATION.	EAU.	ESSENCE.	COLOPHANE.
Capacité calorifique.	1	0.416	0.500
Chaleur latente.	537	76	»

On déduit :

Chaleur absorbée par l'eau. . . . . . . $0,10\,(606,5 + 0,305 \times 100 - 80) = 55,7$
— l'essence. . . . . $0,25\,[76 + 0,416\,(100 - 80)] = 20,7$
— la résine sèche. . $0,65\,(130 - 80) = 32,5$

Totale. 108,9

La vapeur de chauffe se condense à la température de 144° ; 1 kilogramme de vapeur abandonne alors :

$$606,5 + 0,305 \times 144 - 144 = 506,4 \text{ calories.}$$

Le poids de vapeur utile condensée serait donc,

$$\frac{108,9}{506,4} = 0,215.$$

2° Vapeur injectée.

Nous pouvons déterminer, d'après la loi de Dalton, les quantités respectives des vapeurs d'eau et d'essence contenues dans un mélange saturé.

En effet, la distillation ayant lieu sous la pression atmosphérique,

la somme des tensions est 0,76. Les tables des forces élastiques des vapeurs nous indiquent les tensions particulières :

Pour l'essence..........	0,11
Pour l'eau............	0,65
	0,76

Les vapeurs occupent le même espace, leurs poids respectifs sont donc dans le rapport des densités à la température commune et à la pression propre à chacune d'elles.

La densité de la vapeur d'huile de térébenthine par rapport à l'air est 4,80.

$$d^{\text{H}} = \frac{4,80 \times 0,11}{(1 + \alpha T) \times 0,76}.$$

La densité de la vapeur d'eau par rapport à l'air est 0,625

$$d^{\text{E}} = \frac{0,625 \times 0,65}{(1 + \alpha T) \times 0,76}$$

le rapport des densités est donc,

$$\frac{d^{\text{H}}}{d^{\text{E}}} = \frac{4,80 \times 0,11}{0,625 \times 0,65} = 1,32,$$

et comme la densité de l'essence liquide relativement à l'eau est 0,869, le rapport en volume des liquides condensés

$$\frac{V''}{V^{\text{E}}} = \frac{1,32}{0,869} = 1,50.$$

La vapeur étant introduite en filets déliés et très divisés, les expériences directes ont confirmé le rapport ci-dessus et démontré qu'il reste invariable, soit qu'on fasse varier la température de la vapeur au-dessus de 100°, soit la hauteur d'essence à traverser.

Ainsi donc, les 0,10 d'eau de constitution procurant le départ de

$$0,10 \times 1,32 = 0,132 \text{ d'essence,}$$

il restera à vaporiser

$$0,25 - 0,182 = 0,118$$

pour lesquels la vapeur strictement nécessaire dans le cas où le mélange resterait toujours dans les proportions de saturation, serait :

$$\frac{0,118}{1,32} = 0,089.$$

Comme en réalité la vapeur sort saturée au début et pure à la fin, la moyenne dépensée serait 0,178.

La dépense totale de vapeur pour la distillation comprend la vapeur utile que nous venons d'évaluer et un coefficient de pertes que nous fixerons à 10 pour 100.

Chauffage.	0,215
Injection.	0,178
	0,393
Pertes $\frac{1}{10}$.	0,039
Ensemble.	0,432

Consommation de combustible. — L'alimentation du générateur doit se faire : partie avec l'eau condensée par le chauffage et partie avec l'eau sortant du réfrigérant à la température de 60 à 70°, celle-ci pour remplacer la vapeur injectée. La température moyenne que possède l'eau d'alimentation est 80°.

Le calorique à renouveler ou la dépense effective sera :

$$0{,}432\,(606{,}5 + 0{,}305 \times 144 - 80) = 246.$$

1 kilogramme de bois de pin à 25 pour 100 d'eau, brûlé dans un générateur, donnant 2000 calories utilisées, le poids de combustible consommé pour la distillation serait :

$$\frac{246}{2000} = 0{,}123.$$

Durée de l'opération. — On doit la ramener à un terme tel que son influence soit négligeable; mais on ne peut descendre arbitrairement au-dessous de cette limite, car toute réduction de temps se traduit par une augmentation de la puissance des appareils de chauffe et de condensation qui ne tarderait pas à les rendre impraticables.

La durée qui convient pour la température adoptée est de 20 à 25′ : elle n'exerce pas d'action sensible et donne lieu à des dispositifs d'appareils pratiques.

Le temps perdu, en dehors de l'opération, pour le chargement, la vidange et les manœuvres, étant estimé de 5 à 10′, le passage d'une charge prendrait 30′.

III

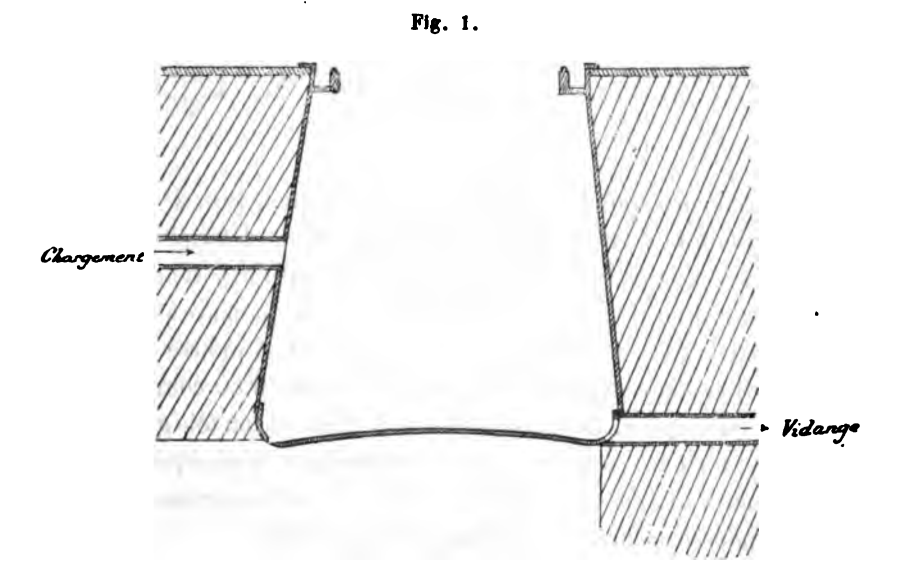
EXEMPLE D'APPLICATION.

Une usine ordinaire fonctionne avec un alambic distillant 3000 kilogrammes de térébenthine par journée de 12 heures. La durée de chaque opération étant 1 heure en moyenne, la charge est de 250 kilogrammes.

La comparaison doit être faite entre des alambics prévus pour cette charge.

Frais d'installation. — L'appareil usité pour la cuite à feu nu (fig. 1) est une chaudière en cuivre rouge de 1 mètre de hauteur, ayant

Fig. 1.



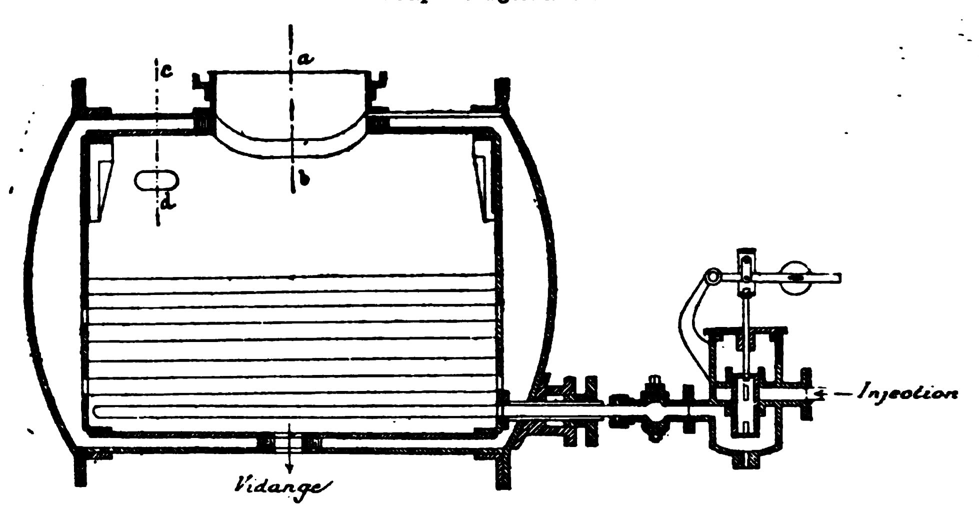
la forme d'un tronc de cône. La petite base, de 0m,650 de diamètre, est ouverte et reçoit le chapiteau. La grande base, de 1 mètre de diamètre, est fermée par un fond légèrement concave qui présente une surface de chauffe de 0mq,80. Comme rien ne s'opposerait à une condensation active des vapeurs dans la région supérieure, on l'enveloppe de maçonnerie.

Le poids de cette chaudière est d'environ 400 kilogrammes et son prix s'élève à 1500 francs.

Échelle au $\frac{1}{20}$

Fig. 2.

Coupe longitudinale.



L'appareil correspondant pour la cuite à la vapeur (fig. 2) établi suivant les conditions et les données que nous avons déterminées précédemment, et d'après le type réduit qui a servi à nos expériences, serait formé d'un cylindre semi-tubulaire de 0^{m},800 de diamètre et de 1^{m},100 de longueur, présentant une surface de chauffe de 5 mètres carrés.

Pour éviter toute condensation contre les parois, il est complètement enveloppé de vapeur. La chemise intérieure seule est en tôle galvanisée; les tubes, en cuivre jaune, étamés extérieurement, sont équidistants à 50 millimètres d'intervalle. Cet écartement est nécessaire parce que la matière mousse beaucoup au début de l'opération.

Un dôme de 0^{m},400 de diamètre sert de siège au chapiteau; il porte une gouttière annulaire pour empêcher les vapeurs condensées dans le coude de la cornue de retomber dans la cucurbite.

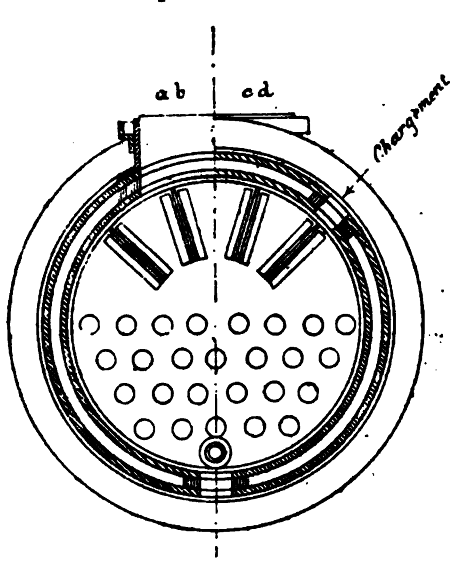
La vapeur de chauffe circule librement dans l'enveloppe et les tubes en communication par les fonds.

Un tuyau percé de trous, longeant la génératrice inférieure de la cucurbite, distribue uniformément la vapeur sèche d'injection à travers

le bain de térébenthine. Le régulateur de pression, qui par la disposition des orifices peut faire en même temps office de sécheur, ou le sécheur distinct qui le suit, n'est séparé de l'alambic que par l'interposition d'un robinet d'arrêt.

Fig. 3.

Coupe transversale.



La cucurbite décrite ci-dessus pèserait environ 800 kilogrammes ; en estimant la chaudronnerie à 150 francs les 100k, son prix net serait. . . . . 1,200 fr.

La valeur du détendeur, du sécheur et de la robinetterie, pour une section de 25 millimètres de diamètre, ne dépasserait pas. . . . . 300 fr.

Ensemble. . . . . 1,500 fr.

Cette évaluation très large prouve qu'en tout état de cause, le nouvel appareil peut se construire, à forfait, au prix de la cucurbite à feu nu.

L'accroissement des frais d'installation se réduirait donc à l'achat d'un générateur.

La fumisterie de la cheminée, des carneaux et du foyer appartenant aussi au système ordinaire, nous n'avons à tenir compte que de la dépense afférente au corps du générateur.

Pour une surface de chauffe utile de

$$\frac{0^{k},432 \times 250^{k} \times 30'}{18^{k} \times 60'} = 12^{mq}.$$

Un bon générateur, pourvu d'un cheval alimentaire, coûterait au maximum 3.000 francs dont l'intérêt annuel à 15 pour 100, amortissement compris, serait. . . . . 450 fr.

Frais de marche. — Le combustible (bûches de pin), consommé par la distillation à feu nu, est environ. . . . . 700 kil.

Dans la distillation à la vapeur la consommation serait :

$0^{k},123 \times 3.000 = 369$ kilogrammes soit. . . . . 400 kil.

Différence. . . . . 300 kil.

Cette différence importante, de plus d'un stère, s'explique facilement si l'on considère que dans la chauffe à feu nu on n'utilise guère que la chaleur rayonnée, tandis que dans le générateur on refroidit, en outre, les gaz de la combustion.

Au prix moyen de $2^{f},50$ le stère de bois rendu à l'usine, on réaliserait, dans le second mode de fabrication, sur deux cents jours seulement de travail par an, une économie de 500 francs, plus que suffisante pour couvrir l'intérêt et l'amortissement du générateur.

Quant à la main-d'œuvre, elle ne serait pas augmentée, attendu que le même ouvrier pourrait s'acquitter sans difficulté, comme dans le système ordinaire, du double soin de conduire le feu et la distillation; le travail s'exécutant d'une manière plus méthodique, sa tâche serait encore simplifiée.

Conclusions.

Nous avons montré :

1° Que par des dispositifs conformes au principe scientifique mieux interprété, la qualité des produits serait améliorée ;

2° Que l'ensemble des dépenses d'établissement et d'exploitation présenterait une économie relativement au système ordinaire ;

3° Que la puissance de production, en travail continu, serait au moins double de celle d'un alambic à feu nu, et aurait pour effet de diminuer de moitié la quotité de frais généraux qui affecte le prix de revient de l'unité des produits.

En conséquence, la solution de la crise qui compromet si gravement le sort de l'industrie des résines, peut être obtenue par la réforme du procédé de fabrication.

CHRONIQUE

SOMMAIRE. — Locomotives pour service secondaire des chemins de fer autrichiens. — Usine à gaz pour établissement industriel. — Les découvertes récentes concernant la machine à vapeur. — Feuilles métalliques de très faible épaisseur.

Locomotives pour service secondaire des chemins de fer autrichiens. — On s'est occupé, depuis quelque temps, en Allemagne d'abord, puis en Belgique et en France, d'adjoindre au lourd matériel de traction des grands chemins de fer, un matériel auxiliaire plus léger, destiné à faire ce qu'on appelle en allemand le service secondaire ou service omnibus.

On peut citer les trains de ce genre du chemin de Berlin à Gōrlitz, traînés par des machines Krauss de 7 tonnes, les voitures à vapeur Belpaire, Rowan, etc.; les voitures-machines construites récemment pour le Chemin de fer de l'État français; nous pourrions citer également comme parfaitement approprié à un service de ce genre, le matériel spécial du Chemin de fer de Bayonne à Biarritz.

Nous trouvons dans l'*Organ*, la description d'une locomotive très légère avec fourgon, construite par la fabrique de Florisdorf, pour le Chemin de fer Nord-Ouest autrichien.

On s'est proposé, dit la note, de faire une machine pour la traction des trains pour lesquels les plus petites machines-tender à deux essieux seraient trop puissantes, et pour lesquels l'adhérence d'un seul essieu moteur serait suffisante.

Cette machine a deux essieux; celui d'avant porte la chaudière et est commandé par le mécanisme, le second essieu, à l'arrière, porte le fourgon et la caisse à eau.

Les cylindres sont extérieurs, horizontaux et placés à l'arrière de l'essieu moteur, c'est-à-dire entre les roues d'avant et d'arrière.

Le châssis est extérieur et les bielles motrices commandent des manivelles calées sur l'essieu moteur. L'appareil est d'une très grande simplicité; les tiroirs sont à l'intérieur, commandés par des coulisses Stephenson, dont les excentriques sont entre la manivelle et la boîte à graisse, à l'intérieur par conséquent du châssis.

Les quatre roues sont serrées par des freins commandés par un cylindre à vapeur de 120 millimètres de diamètre où à volonté par une commande à main et à vis.

Voici les principales dimensions de cette machine :

Surface de grille.	$0^{m^2},63$
Surface de chauffe totale.	36
Nombre de tubes.	100
Diamètre extérieur des tubes.	52 millimètres.
Longueur entre plaques tubulaires.	2 mètres.
Timbre de la chaudière.	10 kilog.
Diamètre des cylindres.	0,225
Course des pistons.	0,370
Distance entre les axes des cylindres.	2,210
Diamètre des roues	0,950
Entre axe des essieux.	3,800
Longueur de la machine hors traverses.	7,150
Capacité des caisses à eau.	1,500 litres.
Poids total de la machine en service.	18,000 kilog.

La machine est munie d'une pompe et d'un injecteur.

Dans un essai avec une charge brute de 63 tonnes, composée de 7 wagons à deux essieux à la vitesse moyenne de 38 kilomètres, et maxima de 50 kilomètres, on a dépensé, par kilomètre, 32 litres d'eau et 5,2 kilogr. de charbon.

Dans un autre essai sur la ligne de Znaïm-Wolframitzkirchen de 12,5 kilomètres de longueur et en rampe constante de 1 pour 100, avec six wagons formant une charge brute de 87,5 tonnes à la vitesse de 15,6 kilomètres à l'heure, on a dépensé 1,400 litres d'eau à l'heure, soit 40 litres par mètre carré de surface de chauffe et 220 kilogr. de charbon, soit 350 kilogrammes par mètre carré de grille. On a constaté un travail développé de 92 chevaux, ce qui porte la dépense par cheval à 15 litres d'eau, et 2,40 kilogrammes de charbon. La dépense par kilomètre, moyenne de l'aller et du retour, ressort à 50 litres d'eau et 7 à 8 kilogrammes de charbon.

Le frein à vapeur permet d'arrêter un train de trois voitures marchant à 30 kilomètres en 15 secondes, c'est-à-dire sur une longueur de 80 mètres.

La machine est actuellement en service régulier sur la ligne de Trautenau-Freiheit de 10 kilomètres de longueur en rampe constante de 15 millièmes; les trains pèsent 50 tonnes et marchent à la vitesse de 18 kilomètres à l'heure.

Les chemins de fer du Sud de l'Autriche ont fait construire également à Florisdorf, une machine de même genre, mais plus puissante. Elle porte aussi un fourgon, il y a trois essieux dont les deux d'avant accouplés; les cylindres sont à l'arrière de l'essieu du milieu, ils ont 0,265 de diamètre et 0,400 de course, la surface de chauffe à 40 mètres carrés, la grille 0,72; le timbre est de 12 kilogrammes; les caisses à eau contiennent 2,700 litres. La machine pèse vide 14,500 kilog., 18,200 kilog. avec approvisionnements, et 24,200 avec le fourgon complètement chargé.

Usine à gaz pour établissement industriel. — Nous trouvons dans le *Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse*, une intéres-

sante notice sur une usine à gaz, établie chez MM. Schæffer, Lalance et Cie, à Pfastadt, Alsace; cette usiue a été faite à la place d'une autro usine insuffisante et mal établie. Le projet a été dressé et exécuté par la maison Riedinger, d'Augsbourg. L'obligation d'installer la nouvelle usine dans les bâtiments de l'ancienne sans arrêter un seul jour la fabrication du gaz, a forcé d'adopter certains agencements qui auraient pu être simplifiés, s'il s'était agi d'une installation toute nouvelle.

On distille de la houille grasse de Sarrebruck, qui est amenée du hangar à charbon dans la salle des fours, au moyen d'un petit chemin de fer et d'un wagon à bascule.

Les fours, au nombre de trois, contiennent chacun quatre cornues en terre de 2,35 de long, 0,470 de large et 0,355 de hauteur. Les charges vont de 75 à 100 kilogrammes. Chaque four peut produire 500 mètres cubes de gaz par jour.

Le chauffage des fours se fait au moyen du gaz produit par du coke brûlant en couche tres épaisse, gaz brûlé au contact d'air chauffé dans des canaux ménagés dans la maçonnerie; c'est en réalité un système à gazogène et recupérateur de construction très simple.

L'extraction du gaz se fait avec un appareil Koerting, qui maintient à zéro la pression dans les laveurs et les barillets, alors que les épurateurs donnent une contre-pression de 8 centimètres; la vapeur est condensée dans des cylindres verticaux en tôle.

L'épuration se fait au moyen d'un mélange de 50 kilog. de fleur de soufre et de 250 kilog. de limaille de fer mêlés à volume égal de sciure de bois et arrosés d'eau. Il se forme du protosulfure de fer, qui à l'air se transforme en peroyde de fer et en soufre. Le mélange absorbe l'hydrogène sulfuré du gaz et se transforme en sulfure de fer, eau et soufre. Si on l'expose de nouveau à l'air, il absorbe de l'oxygène et passe à l'état de peroxyde de fer et de soufre et ainsi de suite; il est seulement nécessaire d'ajouter deux ou trois fois par an un peu de limaille de fer, pour transformer en protosulfure l'excès de soufre qui se produit à la longue.

Pour les productions jusqu'à 1,000 mètres cubes par jour, il suffit de deux hommes pour le service de jour et autant pour le service de nuit. Au delà et jusqu'au maximum de 1,300 mètres cubes, on emploie un troisième homme de jour pour amener le charbon.

On obtient 22 à 23 mètres cubes par 100 kilog. de houille, contenant beaucoup de schiste et notablement de poussier.

On obtient 60 kilogrammes de coke par 100 de houille, dont 38 pour 100 servent au chauffage et 62 pour 100 peuvent être vendus.

En hiver, pour une production de 13 à 14,000 mètres par quinzaine, le prix de revient des 1,000 mètres cubes s'établit comme suit :

Main-d'œuvre (cinq hommes et un surveillant). . . .	19 fr.	27 c.
4,437 kilogr. de houille à 20 francs.	88	74
Entretien.	7	40
	115 fr.	41 c.

Dont à déduire :

2,662 kilogr. de coke produit.
886 — — brûlé.

1,776 kilogr.	vendu à 30 francs. . . .	53f 28c	55 fr. 28 c.
Goudron.	—	2	
			60 fr. 13 c.

Soit : 6 centimes par mètre cube.

En été, pour des productions de 5 à 6,000 mètres cubes par quinzaine, le prix de revient des 1,000 mètres cubes est le suivant :

Main-d'œuvre (quatre hommes et un surveillant). . .	42 fr. 46 c.
4,722 kilogr. de houille à 20 francs.	94 44
Entretien.	18 52
	155 fr. 42 c.

Dont à déduire :

2,833 kilogr. de coke produit.
1,376 — brûlé.

14,57 kilogr. de coke vendu à 30 francs. . . .		43f 71c	45 fr. 71 c.
Goudron vendu.		2	
			109 fr. 71 c.

où 11 centimes par mètre cube.

On peut donc admettre un prix moyen de 8 1/2 centimes par mètre cube sans compter l'intérêt et l'amortissement, ou de 12 centimes en en tenant compte.

Les découvertes récentes concernant la machine à vapeur. — Sous ce titre, M. Dwelshauvers-Dery, professeur de mécanique appliquée à l'École des mines de Liége, a publié une importante et très intéressante série d'articles dans la *Revue universelle des Mines de Liége.*

Nous trouvons dans le premier article les lignes suivantes : « Le savant physicien, M. Hirn, a découvert, demontré expérimentalement et mesuré l'influence thermique des parois des cylindres des machines à vapeur. Peut-être avait-on déjà soupçonné qu'il s'effectuait des condensations pendant la détente; mais, le premier, il a prouvé qu'il y avait un échange continuel de calories entre les parois et la vapeur, pendant tout cet acte mystérieux où la chaleur disparaît en quantité proportionnelle au travail mécanique effectué. »

L'auteur se propose, à la suite de ce point de départ, de déterminer, à coup sûr et en toute équité, la part qui revient à chacun dans la découverte la plus importante qui ait été faite depuis Watt, en ce qui concerne l'économie de la machine à vapeur.

La conclusion de ce long travail est assez importante pour que nous croyons devoir la donner textuellement.

« Dès 1843, Combes soupçonnait déjà qu'il y avait une liquéfaction de la vapeur pendant l'admission, et croyait pouvoir la prévenir en exposant le cylindre à une source de chaleur extérieure, à une température plus élevée que celle de la vapeur dans les chaudières. Il ne croyait pas à l'efficacité de l'enveloppe de vapeur pendant la période de détente, mais uniquement comme empêchant le refroidissement des parois du cylindre pendant l'acte de la condensation. Il avait encore cette opinion erronée ou tout au moins incomplète, en 1863. En 1845, Combes, convaincu de l'existence de l'action thermique des parois, fit des suppositions plausibles sur leur mode d'action, comme sur l'influence de l'enveloppe de vapeur, mais en se gardant d'attacher à son opinion un autre caractère que celui d'une simple probabilité.

« Paris, en 1855, expose, mais très brièvement, une manière de voir analogue à celle de Combes, elle n'avance pas la question.

« En 1855, Hirn, publie une étude complète de l'action de l'enveloppe faite en suivant une méthode nouvelle et, certes, inattendue. Tous les phénomènes sont, d'abord, exactement observés, les chiffres relevés, leur loi déterminée, après quoi en vient l'explication. C'est ainsi qu'il démontre que les parois des cylindres, loin d'être passives, jouent constamment le rôle de réservoirs thermiques et qu'il arrive à mesurer leur influence. Mais la mesure est plus ou moins exacte; beaucoup d'éléments lui manquent encore pour obtenir plus de précision, il les acquerra. N'importe, la méthode d'essais est créée et l'ancienne théorie, qui regarde les parois comme inertes, est détruite, l'étendue des erreurs auxquelles elle conduit étant trop considérable.

« En 1851, Lechâtelier, Flachat, Petiet et Polonceau, avaient fait, à propos des cylindres de locomotives, des conjectures analogues à celles de Combes, mais ni plus ni moins certaines.

« En 1859, les mêmes auteurs n'avaient pas fait faire un pas à la question. De 1852 à 1855, nous trouvons dans Clark, des faits d'expériences nombreux et précis, des preuves réelles de l'action anti-économique des parois, mais rien encore qui semble conduire au renversement des anciennes hypothèses, ni surtout à l'établissement d'une théorie pratique nouvelle, tenant compte des dernières acquisitions de la science physique.

« En dehors de l'école de Hirn, nous ne trouvons plus que l'américain Isherwood [1], dont les travaux au sujet de l'action thermique des parois soient considérables. Ils ont porté principalement sur les machines marines.

1. Dans le tome V de la *Revue universelle des Mines*, 1er semestre 1879, page 501, M. Dwelshauvers-Dery dit : « Si les travaux de Hirn n'avaient précédé de plusieurs années ceux de M. Isherwood, ce dernier pourrait à juste titre revendiquer la démonstration expérimentale de l'action des parois métalliques des cylindres. Sans être le premier, Isherwood n'aura pas moins le mérite d'avoir enrichi la science des moteurs à vapeurs d'archives précieuses, dont le collectionnement exigeait autant d'énergie et de persévérance que d'esprit d'initiative. »

« Ils constituent des archives laborieusement amassées et savamment compulsées par un seul ingénieur; mais rien ne s'en dégage qui ressemble à l'analyse créée de toutes pièces par Hirn, etc. »

L'auteur faisait précéder sa conclusion, dont nous venons de donner textuellement les passages les plus importants, des lignes suivantes: « Sans doute, nous pouvons avoir péché par omission ou par ignorance, nous avons pu passer sous silence des travaux importants peut-être. Qu'on veuille bien nous les signaler, nous nous ferons un plaisir de les mentionner ici. Ce que le lecteur nous accordera, alors même qu'il ne partagerait pas en tout notre manière de voir, c'est que nous avons fait tout notre possible pour montrer comment notre opinion s'était formée, et non pas pour démontrer une thèse et faire à tout prix prévaloir une idée personnelle. »

Profitant de cette invitation, nous croyons nécessaire de signaler à M. Dwelshauvers-Dery, une omission très importante dans son travail; il ignorait évidemment que la théorie du rôle thermique des parois des cylindres était professée, bien antérieurement à 1855, c'est-à-dire aux premières publications de M. Hirn sur la question, dans le cours de machines à vapeur de l'École centrale, le seul cours de ce genre, qui existât, croyons-nous, à cette époque, tout au moins en France.

Thomas, qui fut un des fondateurs de notre Société, et le maître d'un grand nombre d'entre nous, ne se contentait pas de faire, comme le dit pour d'autres M. Dwelhauvers-Dery, des conjectures et suppositions sur le mode d'action des parois des cylindres et l'influence de l'enveloppe, mais il émettait sur ce sujet ses idées de la manière la plus nette et la plus positive, comme on peut le voir par les passages suivants du cours lithographié de machines à vapeur pour l'année 1851-52, pages 49 et suivantes.

« Condensation intérieure du cylindre. Nous savons que la vapeur se condense spontanément par son contact avec un corps froid. Au moment où l'on met en train une machine, le cylindre est froid, et il s'opère une condensation de vapeur contre toute sa surface, et contre celle du piston, qui ne cesse que lorsque ces surfaces ont acquis la température de la vapeur arrivant de la chaudière; cette condensation donne naissance à la formation d'une multitude de gouttelettes d'eau, qui recouvrent toutes les parties du cylindre, ainsi que la face du piston en contact avec la vapeur.

« Lorsque le piston arrivé au bout de sa course est sur le point de changer de direction, la lumière d'échappement s'ouvre et met l'intérieur du cylindre en communication avec le condenseur, aussitôt la pression de la vapeur qui le remplissait s'abaisse et tombe presque instantanément à 1/8 environ d'atmosphère; par suite de cet abaissement de pression les gouttelettes d'eau se vaporisent en dépensant d'abord leur propre chaleur et ensuite celle qu'elles empruntent aux parois qu'elles recouvrent, de telle sorte que ces parois éprouvent un abaissement de température correspondant à l'abaissement de tension, c'est-à-dire qu'elles tombent elles-mêmes à une température d'environ 50 degrés. La vapeur nouvelle, arrivant pour agir sur le piston au coup suivant, trouve le cylindre refroidi à cette tem-

pérature de 50 degrés environ, et il s'en condense une nouvelle quantité suffisante pour ramener ses parois au degré qu'elle possède elle-même.

« Cet effet se répète à chaque coup indéfiniment, tant que la machine fonctionne; si la vapeur possède 4 atmosphères ou 144 degrés dans le cylindre, à chaque montée ou descente du piston, toutes les surfaces touchées par elle s'élèvent à cette température de 144 degrés, et la perdent à la descente ou montée suivante, pour s'abaisser à celle de 50 degrés.

« Lorsque la machine est sans condensation, les parois du cylindre ne s'abaissent à chaque coup qu'à 100 degrés au lieu de 50 degrés. Il est très difficile, si ce n'est impossible, de déterminer théoriquement la perte de chaleur résultant de cette condensation suivie à chaque coup d'une évaporation, actions par suite desquelles une portion de l'épaisseur du cylindre prend inutilement deux fois par tour du volant une température élevée qu'elle perd immédiatement après; il faudrait avoir égard à la conductibilité de la fonte, conductibilité qui n'est pas rigoureusement connue.

« D'après quelques expériences du professeur, la vapeur arrivant dans le cylindre, déposerait à chaque coup, par sa condensation sur toutes les surfaces en contact avec elles, une couche d'eau de 1/50 de millimètre d'épaisseur, pour une différence moyenne de 70° entre sa température et celle de la vapeur se dégageant dans le condenseur; cette épaisseur correspond à un poids de $0^k,02$ de vapeur condensée par mètre carré. Une telle condensation constitue une perte considérable à cause du grand nombre de fois qu'elle se reproduit par heure : une machine de manufacture de vingt-cinq chevaux fonctionne généralement à 30 tours ou 60 coups simples par minute, et une machine locomotive dépasse quelquefois le nombre de 500 coups simples; le phénomène que nous venons d'expliquer se renouvelle donc 500 fois par minute dans ces dernières machines.

« Il est presque certain, et nous admettrons comme vrai, que la quantité de vapeur condensée est proportionnelle à la différence moyenne de température entre le dessous et le dessus du piston, c'est-à-dire entre la température de la vapeur qui agit, et celle de la vapeur en communication avec le condenseur ou l'atmosphère.

« Appelons P le poids de vapeur condensée par coup simple, D cette différence moyenne de température, d le diamètre du cylindre, l sa hauteur, ou plutôt la longueur de la course, S la surface des conduits de vapeur, depuis l'appareil distributeur jusqu'aux deux extrémités du cylindre, enfin, d' le diamètre de la tige du piston; on aura d'après les expériences citées :

$$P = 0^k,02 \times \frac{D}{70}\left(S + \frac{\pi d^2}{2} + \pi d l + \frac{1}{2}\pi d' l\right)$$

pour une descente ou une montée du piston; $\frac{\pi d^2}{2}$ représente la surface du piston et celle du fond ou du couvercle, $\pi d' l$ la surface verticale du

cylindre et $\pi d' l$ celle de la tige; il faut diviser $\pi d' l$ par 2 parce que la tige ne plonge que moitié du temps dans le cylindre.

« N indiquant le nombre de tours par minute, le poids de vapeur Q condensé par heure s'exprimera par :

$$Q = 0,02 \times \frac{D}{70}\left(S + \frac{\pi d^2}{2} + \pi d l + \frac{1}{2}\pi d' l\right) 2 N \times 60.$$

« Faisons observer que cette perte devient moindre lorsque les machines fonctionnent à plus grande détente, car la température moyenne de la vapeur pressant le piston diminue à mesure que la détente augmente. On fait maintenant des machines, qui détendent à un tel point qu'à la fin de la course, la vapeur ne conserve plus sur le piston qu'une tension très peu supérieure à celle du condenseur ou de l'atmosphère; il en résulte que l'eau condensée au commencement de la course se vaporise vers la fin; la vapeur formée par cette vaporisation agit sur le piston, mais elle produit un effet utile moindre que si elle provenait de la chaudière.

« On parvient à éviter presque complètement la condensation intérieure en maintenant les parois du cylindre à la température de la vapeur arrivant de la chaudière; pour cela on entoure le cylindre, son fond et son couvercle, d'une enveloppe que l'on met en communication avec la chaudière, ou mieux dans laquelle on fait circuler la vapeur avant son entrée dans la boîte de distribution.

« L'emploi d'une enveloppe de vapeur empêche toute condensation sur les parois intérieures des cylindres, sur le fond et le couvercle; mais elle n'annulle pas la condensation sur le piston et sur sa tige, pièces difficiles à échauffer sans trop compliquer la machine [1].

« Il ne peut rester aucun doute sur l'utilité des enveloppes après les considérations précédentes, cette utilité repose en effet sur un des phénomènes physique le plus connu et le mieux constaté.

« L'explication précédente des effets produits par la condensation dans l'intérieur des cylindres, que j'ai donnée pour la première fois aux élèves de l'année 1837-38, démontre l'utilité des enveloppes; les machines qui depuis furent construites en France, plus spécialement dans les ateliers de M. Farcot, avec circulation de vapeur sur le couvercle en plus de la circulation autour de la paroi cylindrique et sous le fond sont venues, par leurs résultats pratiques, démontrer encore mieux cette utilité. »

Ces citations textuelles suffiront, nous n'en doutons pas, pour que la part considérable qui revient à Thomas dans la découverte de l'action thermique des parois des cylindres soit bien établie.

Feuilles métalliques de très faible épaisseur. — Le profes-

1. On sait qu'on est arrivé aujourd'hui à faire circuler la vapeur dans l'intérieur des pistons; on en voit des exemples dans les grosses machines marines et dans quelques machines fixes Corliss.

seur Egleston, de New-York, a fait, à l'Institut américain des ingénieurs des mines, une communication sur la réduction des métaux en feuilles très minces. En 1865 les forges de Sligo avaient obtenu des feuilles de fer ne pesant que 4,469 grammes pour 2,70 décimètres carrés de surface, ces feuilles pouvaient servir de papier à lettre; ce fut longtemps le minimum d'épaisseur réalisé. Ensuite, Booker de Cardiff réduisit le poids à $4^{g},015$ pour la même surface; on arriva ensuite à 3,174; Hallam de Swansea fit des feuilles pesant 2,979 pour 2,83 décimètres carrés, puis 3,173 pour 4,45. Enfin, les ateliers de Upper Forest à Swansea, produisirent des feuilles mesurant 1,55 décimètre carré et pesant $1^{g},296$; il faut en superposer 1888 pour faire un décimètre d'épaisseur.

Ces feuilles sont obtenues au laminage: on sait que par le battage on peut obtenir des feuilles d'or extrêmement minces, mais, par des moyens autres que des procédés mécaniques, on peut obtenir des épaisseurs bien moindres.

Le professeur a montré une feuille d'or préparée à la Monnaie de Philadelphie et dont l'épaisseur est calculée devoir être de $0^{m}/_{m},0001$ à $0^{m}/_{m},00015$ soit à peu près le $\frac{1}{15000}$ de l'épaisseur de papier ordinaire pour impression. Le métal est d'une transparence absolue. On obtient ces feuilles en recouvrant d'or par procédé électro-chimique une feuille de cuivre rouge de $0^{m}/_{m},005$ d'épaisseur, et en dissolvant le cuivre dans l'acide azotique; la feuille d'or reste seule, on la recueille sur le bain et on la place entre deux lames de verre.

COMPTES RENDUS

ACADÉMIE DES SCIENCES.

Séance du 16 *Août* 1880.

Note de M. Pifre sur de nouveaux résultats d'utilisation de la chaleur solaire obtenus à Paris.

M. Pifre indique qu'il a pu, avec de nouveaux appareils, obtenir, à Paris, une utilisation de 12,12 calories par minute et par mètre carré de surface d'insolation, tandis que les anciens appareils ne lui avaient jamais donné, même en Algérie, par un beau soleil d'août, plus de 9,2 calories.

Cet accroissement d'utilisation tient d'abord au changement de forme du réflecteur et de la chaudière.

Le réflecteur est formé actuellement de trois troncs de cône, dont la génératrice est une ligne brisée et a son milieu incliné à 45 degrés, tandis que l'ancien réflecteur était un simple tronc de cône.

Le foyer se trouve ainsi concentré sur une longueur beaucoup moindre, la zone de chauffage maximum se rapproche de la partie inférieure de la chaudière et les lois d'un chauffage rationnel sont mieux observées.

Cette disposition du réflecteur permet également de diminuer de moitié la hauteur de la chaudière, sans qu'il soit nécessaire d'augmenter pour cela son diamètre, car auparavant on était obligé de glisser un cylindre plein dans son intérieur, pour diminuer sa capacité. Cette modification est d'une importance capitale dans le cas de production de vapeur sous pression.

Le réflecteur du nouvel appareil présente au soleil une ouverture utile de 9,25 mètres carrés. La chaudière contient 50 litres d'eau. Lorsque le ciel est clair, l'ébullition s'obtient en moins de 40 minutes et la pression monte de l'atmosphère toutes les sept ou huit minutes.

A diverses reprises, 6 minutes ont suffi pour monter de 5 à 6 atmosphères.

La machine est disposée de manière à avoir son arbre fixe, bien que la machine elle-même participe au mouvement d'orientation de l'appareil. Elle fait mouvoir une pompe rotative qui élève 99 litres par minute à 3 mètres de hauteur.

L'effet utile par mètre carré de surface est six fois plus grand que celui obtenu en Algérie avec l'ancien appareil.

L'appareil d'orientation a été modifié. C'est actuellement un mouvement analogue à celui du théodolite au lieu d'un mouvement parallactique. Ce changement a simplifié l'appareil et rendu plus faciles et plus commodes l'alimentation de la chaudière, le placement du niveau d'eau, la distribution de la vapeur au moteur et la transmission de la force.

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES.

AOUT 1880.

Description du tramway à câble de la rue California, à San-Francisco, par M. Hubbne, architecte. — Cette note déjà ancienne (juillet 1878), donne d'intéressants détails sur un nouveau tramway à câble

établi à San-Francisco, avec quelques modifications par rapport aux tramways de Clay Street et de Sutter Street[1] dans la même ville.

Le développement est de 2700 mètres, il y a une succession de rampes et de pentes coupées par des paliers à la rencontre des rues transversales; l'inclinaison maxima est de 20 pour 100.

La voie a 1,06 à l'intérieur des rails, les câbles ont 30 millimètres de diamètre et sont contenus dans un tunnel de 0,55 de large, soutenu par une série de cadres métalliques noyés dans du béton; la tranchée se trouve entre les rails, mais elle n'est pas tout à fait dans l'axe de la voie.

Les machines motrices sont à peu près au milieu de la longeur; aux deux extrémités, il y a chariots de tension avec contrepoids.

Le *gripp* ou appareil qui pince le câble sous l'action d'un levier, est porté par un véhicule appelé *dummy* qui sert de remorqueur, on ne traîne qu'un car à la fois.

Les machines motrices sont au nombre de deux, de 250 chevaux chaque; cette puissance considérable s'explique par le fait qu'il peut y avoir à la fois 14 trains sur le cable.

En effet, les départs ont lieu à des intervalles de 2 à 7 minutes, suivant les heures de la journée.

La vitesse est de 9,5 kilomètres à l'heure.

On transporte 5000 voyageurs par jour en moyenne, et le tarif est de 25 centimes.

Note sur la charge d'écrasement des pierres de construction, par M. de Perrodil, ingénieur en chef des ponts et chaussées. — L'auteur, s'appuyant sur les expériences bien connues de M. Michelot, ingénieur en chef du service de recherches statistiques sur les matériaux de construction, s'est proposé de résoudre approximativement le problème de la relation de la force portante en fonction du poids spécifique, et donne dans cette note, d'ailleurs très courte, quelques tableaux où il établit cette relation.

La Commission des chemins de fer en Angleterre, 2e article, par M. Cavaignac, ingénieur des ponts et chaussées. — L'objet de cette note est de répondre aux critiques contre un premier travail de l'auteur, inséré dans les *Annales des ponts et chaussées* et intitulé « *Note sur les rapports de l'État avec les Compagnies de chemin de fer en Angleterre*, » critiques formulées par M. de Franqueville dans une lettre adressée à M. le Président de la commission des *Annales des ponts et chaussées*.

Note sur la largeur à donner aux canaux dans les courbes, par M. Mocquery, ingénieur des ponts et chaussées.

1. On trouvera sur ces tramways quelques renseignements fournis directement par M. Eppelsheimer leur constructeur, dans le Mémoire sur la traction mécanique pour tramways. Congrès international du Génie civil de 1878, page 200.

Observations sur une note de M. l'ingénieur en chef de Labry, relative à l'**utilité des travaux publics**, par M. Doussot, ingénieur en chef des ponts et chaussées. — Nous avons donné le résumé du travail de M. de Labry dans les comptes rendus de 1880. M. Doussot est d'avis que la théorie de M. de Labry est ingénieuse, mais qu'elle repose sur des bases qui paraissent être en contradiction avec les vrais principes de l'économie politique, et que les conséquences en sont inacceptables.

Les travaux publics exécutés par l'État, ont exclusivement pour but l'augmentation de la fortune publique; ils sont utiles lorsque leur produit annuel est supérieur à l'intérêt courant de la dépense augmentée des frais d'entretien, et on doit les entreprendre en suivant leur degré d'utilité, sous réserve toutefois de certaines restrictions tenant à des questions de solidarité et de justice distributive, dont il faut tenir compte dans chaque cas.

L'outillage national et la dette de l'État, réplique à M. Doussot, par M. de Labry. — C'est une réponse à la note précédente.

M. de Labry maintient qu'il faut savoir établir une distinction entre des travaux publics non rémunérateurs pour l'État, qui augmenteraient sa dette, et des travaux publics rémunérateurs pour l'État, qui équivaudront à la diminuer, et il invoque cet argument, que cette dernière condition a été admise dans le grand programme des travaux publics récemment indiqué à l'activité nationale.

Note sur la vérification de la stabilité des voûtes, par M. Cunq, chef de section aux chemins de fer du Midi. — Cette note a pour objet 1° d'indiquer des constructions extrêmement simples et d'une exécution très rapide, pour la pratique de la méthode de M. Durand-Claye, et 2° de faire connaître une autre méthode de vérification, dans laquelle les conditions d'équilibre sont nettement accusées par les positions relatives de lignes droites et de courbes contours déduites de la voûte à étudier au moyen d'une très simple transformation.

ANNALES DES MINES.

3e numéro de 1880.

Notice sur les travaux exécutés à Bourbonne les Bains, par M. Rigaud, ingénieur des mines. — Cette partie, qui fait suite à celle

qui a été publiée dans le deuxième numéro des *Annales des Mines*, comprend l'histoire des sources, l'exécution des travaux par le service des mines, savoir, travaux préliminaires, sondages et aménagement des sources.

COMPTES RENDUS MENSUELS DES RÉUNIONS DE LA SOCIÉTÉ DE L'INDUSTRIE MINÉRALE

JUIN 1880.

RÉUNION DE MONTLUÇON, 14 MARS 1880.

Communication sur le **Broyeur-Vapart**, par M. CORDIER.

Note sur la **Déphosphoration des fontes**. — M. le Président, dans le but de provoquer une discussion sur cette question, adresse à l'Assemblée quelques observations sur le procédé Thomas et Gilchrist, appliqué actuellement à Witkowitz, en Moravie, à Hoerde, en Westphalie, aux aciéries du Rhin, à Ruhrort, et aux aciéries d'Angleur, en Belgique, ainsi que sur les forno-convertisseurs établis à Creil par M. Ponsard.

Communication sur la **Dynamite**, par M. BAURE.

Communication sur le **Goudronnage des chaudières à vapeur**. M. OBÉ, ingénieur des houillères du Montet, a fait des expériences sur ce sujet; après avoir appliqué du goudron de houille bien chaud sur les surfaces intérieures d'une chaudière, il a trouvé, que quinze jours après la mise en service, les dépôts n'offraient ni dureté ni adhérence, contrairement à ce qui avait lieu auparavant.

La dépense de goudronnage s'est élevée à 4 francs par chaudière, dont 1 franc de matière et 3 de main-d'œuvre ; on a brûlé dans les mois de janvier, février et mars 1879, 173 175 kilogrammes de houille, tandis que dans le trimestre précédent, avant le goudronnage, on avait brûlé 195 192 kilogrammes du même combustible; la différence serait donc de 11,27 pour 100.

L'auteur pense que l'absence de dépôt adhérent suffit pour expliquer le résultat, mais il se demande si, en plus de cette cause, il n'y aurait pas à tenir compte de l'absorption et du rayonnement de calorique plus grands dus à la couleur même du goudron.

Emploi de l'électricité comme force motrice. — M. le Président donne quelques détails sur les résultats obtenus à Sermaize, par MM. Chrétien et Felix.

Éclairage électrique. — M. le Président donne également quelques détails sur la distribution de la lumière électrique à l'aide de réflecteurs ou écrans réalisée par M. Jaspar. Des lentilles ramènent au parallélisme les rayons lumineux divergents et les dirigent sur des écrans ou réflecteurs qui répandent la lumière dans un certain espace. On a pu, à Liége, avec un foyer unique, établi au rez-de-chaussée, dans une halle de montage, éclairer 1° un atelier d'ajustage contigu et 2° cinq chambres situées au premier étage, soit en résumé, sept salles éclairées par onze faisceaux lumineux tirés d'un foyer unique.

Perforateurs. — M. Baure donne des détails sur les améliorations apportées depuis quelques années à la construction des perforateurs mécaniques.

Il cite le perforateur Dubois et François, modifié par les inventeurs, le même perforateur modifié par la Compagnie d'Anzin, le perforateur Ferroux simplifié ; il mentionne ensuite quelques nouveaux systèmes, savoir : les perforateurs Chodzko, Guenez, Eclipse, Drou, Mac-Kean et Turettini.

RÉUNION DE SAINT-ÉTIENNE, 5 juin 1880.

Étude sur l'acier Bessemer, d'après les documents parus récemment en Allemagne, par M. Gauthier, observations par M. Pourcel et par M. Brustlein.

Roulage par chaîne flottante des mines de Fillols (Pyrénées-Orientales), communication par M. Perrin. — Ce roulage raccorde la mine de Taurynia à Prades; il a 5341 mètres de développement à l'extérieur, et 2000 en galeries; la différence de niveau est de 283 mètres.

La voie a 0,55 de largeur, elle est en rails Vignoles d'acier de 7 kilogrammes par mètre courant. La chaîne est en trois échantillons de 17 millimètres, pesant $4^{kg},9$ le mètre, de 23, pesant $8^{kg},9$ et de 15, pesant $3^{kg},95$.

Les wagons en bois pèsent vides 210 kilogrammes et portent 500 kilogrammes de minerai, les roues ont $0^{m},30$ de diamètre ; les wagons sont espacés sur la chaîne à 27 mètres d'intervalle.

Des signaux électriques réunissent les stations du bas, des freins et du haut.

Le prix de revient total a été de 465,000 francs ou 83,000 francs par kilomètre; on peut transporter 700 tonnes par jour.

Moteurs électriques, communication de M. Brunet.

La déphosphoration au dernier meeting de l'Institut du fer et de l'acier à Londres, communication de M. Pourcel.

INSTITUTION OF MECHANICAL ENGINEERS.

RÉUNION DE BARROW-IN-FURNESS.

Communication de M. J. Humphrys sur le steamer *City of Rome*. — Le steamer *City of Rome*, en construction aux chantiers de Barrow, pour le comple de la compagnie Inman, sera le plus grand navire après le *Great Eastern*.

Les dimensions de la coque sont : longueur entre perpendiculaires 166m,53, longueur extrême 183 mètres, largeur extrême 15m,92, creux 11m,30. Le navire peut recevoir 271 passagers de cabine et 1500 émigrants.

Il pèsera, tout armé, 8000 tonneaux, et son déplacement à 8m,50 de tirant d'eau étant de 13500 tonneaux, il pourra porter en lourd 5500 tonneaux. Sa capacité de chargement est de 7720 tonneaux de 50 pieds cubes.

On s'est proposé de donner une très grande solidité à la coque. Les compartiments limités par les cloisons étanches n'ont pas plus de 18m,30. Les cloisons sont munies de vannes pouvant être manœuvrées d'en haut ou d'en bas, avec indication de leur position sur le pont. La membrure est disposée à la manière ordinaire, il y a neuf rangs de carlingues, les cinq rangées du centre allant d'un bout à l'autre sur une hauteur uniforme, même sous les machines et chaudières. L'étambot, fabriqué aux forges de la Mersey, pèse 33 tonnes fini, c'est la plus forte pièce de ce genre qui ait été faite.

Le *City of Rome* n'a qu'une hélice, mue par trois machines Compound à cylindres verticaux superposés actionnant des coudes à 120 degrés. Les cylindres à haute pression ont 1m,096 et les cylindres à basse pression 2m,193 de diamètre, la course étant de 1m,830.

Les tiroirs sont mus par des excentriques calés sur un arbre spécial relié par engrenages avec l'arbre moteur. Ce dernier est construit en pièces rapportées en acier comprimé Whitworth.

L'arbre intermédiaire a 0m,732 de diamètre avec un évidement central de 0m,427; l'arbre de l'hélice a 0m,762 de diamètre, 9m,20 de long et pèse 18 tonnes.

L'arbre à manivelles pèse 64 tonnes, les portées ont 0m,637 de diamètre et 0m,866 de longueur, et les boutons de manivelles 0m,663 de diamètre et 0m,714 de longueur. La buttée a 13 collets de 1 mètre de diamètre, qui donnent une surface totale de portée de 3,90 mètres carrés.

Les condenseurs à surface renferment 26370 mètres courants de tubes, représentant une surface totale réfrigérante de 1581 mètres carrés; la circulation est établie par des pompes alternatives à double effet de 0m,793 de

diamètre et $0^m,915$ de course. Il y a aussi une forte pompe centrifuge pouvant agir comme pompe de cale, et trois pompes à vapeur auxiliaires.

Les chaudières, au nombre de huit, sont disposées dans deux chambres de chauffe séparées par une cloison étanche.

Ce sont des chaudières cylindriques avec foyers à chaque extrémité, de $4^m,27$ de diamètre et $5^m,80$ de longueur.

Il y a pour chaque chaudière six foyers circulaires de $1^m,145$ de diamètre; les chambres de combustion sont séparées par une lame d'eau; la surface de grille totale est de 104,4 mètres carrés; la pression de marche est de $6^{kg},5$; les foyers sont en tôle de Bowling, et les enveloppes en fer de John Brown, en feuilles de $7^m,62$ de longueur, $1^m,35$ de large et 32 millimètres d'épaisseur, pesant chacune près de 2 1/2 tonnes.

Les machines doivent développer en travail normal, 8000 chevaux indiqués, mais on espère réaliser jusqu'à 10000 chevaux, et obtenir une vitesse de 18 nœuds.

Cette communication a été suivie d'une discussion dans laquelle quelques critiques de détail ont été formulées.

M. Boyd a blâmé l'emploi d'un arbre spécial de distribution accouplé par engrenages avec l'arbre moteur; il y a dans chaque dent de l'engrenage une chance d'avarie.

M. Edward Reynolds a critiqué la forme creuse donnée à l'arbre de l'hélice; il ne croit pas impossible de faire pleins des arbres d'un diamètre équivalent, bien sains jusqu'au centre.

Cette opinion a été contestée par d'autres membres, notamment par M. Thomas Adams, qui considère l'arbre creux comme plus résistant à diamètre égal, dans le rapport de 13 à 11.

M. P. Marshall blâme également l'emploi de l'arbre intermédiaire; il aurait préféré une machine à trois cylindres, un à haute pression et deux à basse, au lieu de six cylindres. Il est très partisan des arbres creux, qu'il emploie lui-même sur une grande échelle.

M. John Robinson s'étonne qu'on n'ait pas fait les chaudières en acier, les tôles de ce métal de John Brown auraient donné toute garantie, et on aurait pu réduire l'épaisseur.

M. Reynolds dit qu'il a fait pour sa part beaucoup d'arbres à manivelles rapportées et qu'il n'y a aucune difficulté à les faire de toute solidité. Il en a entre autres établi un qui fonctionne depuis deux ans sur un navire dont les propriétaires ne se sont jamais doutés que l'arbre n'était pas d'un seul morceau.

M. Humphys, en réponse aux observations précédentes, dit que l'emploi des engrenages pour l'arbre de distribution n'a pas d'inconvénients, attendu qu'il y a un jeu de roues dentées à chaque extrémité.

On a employé la tôle de fer pour les chaudières, parce qu'on voulait avoir des feuilles très grandes pour éviter les joints longitudinaux qui sont toujours un point faible.

Les arbres creux ont paru donner plus de garantie que les arbres pleins

et on a eu en vue également d'obtenir une certaine élasticité qui paraît désirable pour ces organes.

Le système à cylindres superposés est aussi économique que le système à réservoir et donne peut-être plus de régularité. Quant au regret qui a été exprimé par le Président, qu'il n'ait pas été fait un plus grand usage de l'acier dans la construction du *City of Rome*, il y a là une question d'argent; il faut encore que le prix des tôles d'acier baisse pour que son emploi se répande dans les constructions navales.

Communication de M. Alfred Davis, sur l'acier comprimé. — L'auteur rappelle que l'acier fondu en lingots Bessemer ou Martin-Siemens, présente souvent une texture caverneuse, dont on attribue la cause : 1° aux gaz dégagés au moment du passage du métal de l'état liquide à l'état solide, et qui restent emprisonnés par suite de la solidification de la couche extérieure, et 2° à la contraction du métal au moment de cette solidification.

On a proposé divers moyens pour remédier à ces inconvénients très graves. Le système employé aux aciéries de Barrow, et qui fait l'objet de cette note réunit la simplicité à l'efficacité; ce procédé est employé depuis plusieurs années aux aciéries d'Edgar Thomson, à Pittsburg, États-Unis. Il consiste à envoyer à la partie supérieure du moule fermé, après la coulée, de la vapeur à haute pression; la pression maxima est de 14 kilog. (200 livres par pouce carré). On avait d'abord essayé d'injecter simplement de l'eau, qui se vaporisait au contact du métal rouge, mais on n'a pas réussi. L'emploi de la vapeur paraît aussi préférable à celui d'une pression fixe telle que celle de l'eau sous charge. M. Davis donne la description des appareils employés et notamment du système de fermeture des lingotières, description qui ne serait pas intelligible sans l'aide de figures. En réponse à diverses questions qui lui sont adressées, l'auteur dit que la compression de l'acier paraît avoir été tentée à peu près à la même époque et indépendamment en France et aux États-Unis. Bien que sir Joseph Whitworth ait été jusqu'à des pressions de 150 et même 300 kilog. par centimètre carré, on peut estimer que 9 à 10 kilog. sont suffisants pour toute espèce d'acier.

Communication de M. Joy, sur un système de changement de marche pour machines à vapeur. — Le principe de ce système consiste à prendre sur la bielle motrice un point près du milieu et à y attacher, par l'intermédiaire d'une sorte de parallélogramme, une bielle dont l'autre extrémité est guidée dans une direction plus ou moins oblique. Le prolongement de cette bielle au delà du guide commande la tige des tiroirs; selon que la direction du guidage est inclinée dans un sens ou dans l'autre, ou est perpendiculaire à l'axe de la machine, celle-ci va en avant, en arrière, ou est maintenue au repos.

M. Webb a appliqué ce mode de distribution à une machine à marchandises du L.-N.-W. et en est très satisfait.

M. Marshall de Newcastle, dit qu'il a employé un système analogue, mais avec commande par excentrique, pour des bateaux à vapeur. On rappelle que ce mode de distribution est fondé sur le même principe que celui de M. Brown de Winterthur. Nous pensons qu'il est facile de mettre tout le monde d'accord en indiquant que ces systèmes ont tous pour origine un appareil breveté en 1843, en France, par Édouard Solms pour le changement de marche des bateaux à vapeur et autres machines à renversement, et qui paraît être resté plongé dans l'oubli le plus absolu jusqu'à ces dernières années. Le système Marshall avec excentrique est la reproduction textuelle de l'appareil Solms.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ALLEMANDS.

MARS 1880.

Construction des pompes à incendie à vapeur, par M. Bach, professeur à l'École polytechnique de Stuttgardt. — Des tensions développées dans les montants verticaux des ponts en fer, par M. Jebens, ingénieur, à Meldorf.

De la déphosphoration de la fonte dans son traitement au haut fourneau, par M. Siegfried-Stein de Bonn.

Des expériences sur la combustion et la vaporisation faites à Munich, par le professeur Voit de Munich.

Turbine axiale avec introduction d'air dans la couronne, par M. Bernhardt-Lehmann, d'Erfurt.

De la circulation de l'eau dans les chaudières à vapeur.

De l'utilisation des gaz dans les fourneaux des générateurs, par M. C. Emmel.

Sur un moyen de garantir contre la gelée les conduites d'un chauffage à l'eau chaude.

Le Secrétaire-Rédacteur,

A. MALLET.

PARIS. — IMPRIMERIE E. CAPIOMONT ET V. RENAULT, RUE DES POITEVINS, 6.
Imprimeurs de la Société des Ingénieurs civils.

OU

OR

BOITES.

iamèt du noye	Type du boite.	Portée du coussinet.	Nature du joint d'arrière.	Poids du coussinet.	Poids de la boite complète.	COULISSES. Distance au fond.	Largeur.
m.		m/m		k.	k.	m.	m.
»	ixte.	92	Feutre.	»	60	0.264	0.018
).22	»	65	Carton et laiton	3	33	0.167	0.025
).24	ixte.	»	Rondelle en toile	3.700	39.620	0.217	0.028
).24	Id.	»	Id.	3.700	39.620	0.217	0.028
).24	Id.	»	Id.	3.700	39.620	0.217	0.028
»	Id.	»	»	6.500	28.830	0.168	0.032
).20	ixte	58	Toile collée.	2.600	35	0.160	0.027
).22	Id.	80	Feutre.	6	56	0.244	0.031
).22	aisse.	94	Rondelle en bois.	4	40	0.202	0.030
).25	uile.	72	Cuir.	4.070	45	0.244	0.033
»	ixte.	»	»	6.500	28.830	0.168	0.032
).22	aisse	94	Rondelle en bois	4	40	0.202	0.030
).21	Id.	74	Id.	2.700	30	0.182	0.030
).25	uile.	72	Cuir.	4.070	45	0.244	0.033
).21	aisse	74	Rondelle en bois.	2.700	30	0.182	0.030
»).20	ixte.	»	»	6.500	28.830	0.168	0.032
).22	ixte.	58	Toile collée.	2.600	35	0.160	0.027
	Id.	80	Feutre.	6	56	0.244	0.031
).24	ixte.	»	Rondelle en toile.	3.700	39.620	0.217	0.028
.23	Id.	»	»	3.050	31.550	0.164	»
.2	aisse.	94	Rondelle en bois.	4	40	0.202	0.030
.32	Id.	94	Id.	4	40	0.202	0.030
	Id.	74	Id.	2.700	30	0.182	0.030
»	»	»	»	»	»	»	»
.12	ixte.	»	Feutre.	4	39	0.217	0.028
»	»	»	»	»	»	»	»
.130	ile.	»	Feutre.	1	13	0.115	0.018
.100	ixte.	»	Id.	3	26.5	0.185	0.027
.130	ile.	»	Feutre.	1	13	0.115	0.018
»	»	»	»	»	»	»	»

Paris. — Imp. E. Capiomont et V. Renault, rue des Poitevins, 6.

…EAU

…L — MATÉRIEL POUR VOIE ÉTROITE.

…rléans / d°. / …clas… avec …partie à lit.	Matériel pour transports spéciaux. Chevalier. d°. Bureau ambulant des Postes. Extrémités.	Chevalier. d°. Bureau ambulant des Postes. Milieu.	Lepage. Cie française. Wagon réservoir	Voitures. Cie française. d°. Voiture pour voie de 0m 75.	Voitures. Chevalier. d°. Voiture à 2 trucks pour voie de 1m 00.	Wagons. Cie française. d°. Voiture à toiture mobile.	Wagons. Delettrez. d°. Wagon plat à tamponnement et attelage automatique.
11	9	8	12	5	Ressorts à pincettes. 16	5	7
…90/12	75/10	75/10	75/11	60/8	75/8	60/8	65/10
….250	0.200	0.200	»	0.076	0.177	0.079	»
….140	»	»	»	0.827	»	0.561	»
….200	1.450	1.450	1.000	0.841	0.900	0.583	0.865
»	1.400	1.400	»	0.277	»	0.265	»
….090	0.076	0.085	0.014	0.073	0.080	0.020	0.087
…2.350	»	»	»	650	»	1.124	
…5.220	»	»	»	1.524	»	2.470	»
5m/m	»	»	»	5m/m	»	5m/m	»
….010	0.008	0.008	»	0.008	0.008	0.008	»
»	0.028	0.028	»	0.016	0.0125	0.016	»
130	»	»	»	12	»	9	»

Paris. — Imp. E. Capiomont et V. Renault, rue des Poitevins, 6.

	FOURGON à bagages. ORLÉANS. Orléans.	WAGON à marchandises. MIDI. Midi. WAGON plate-forme.	OBSERVATIONS.
	18	9 couples de rondelles Belleville.	
	75/10		
	0 345		
		Diamètre extérieur 0m.150	
	1.560	Diamètre du trou 0m.051	
	1.800	Épaisseur 6 m/m. Flèche 4 1/2.	
	»	»	
	0.071	0.0115	
	2.435	»	
	5.250	»	
	0.005	»	
	102	»	
	7	8	
	75/10	75/12	
	0.090	0.140	
	0.800	0.770	
	0.830	0.838	
	»	0.200	
	0.019	0.0105	
	2.100	»	
	4.736	»	
	0.005	»	
	20	27.800	

Paris. — Imp. E. Capiomont et V. Renault, rue des Poitevins, 6.

U V.
ès av

MATÉRIEL POUR VOIE ÉTROITE.

	WAGONS.		VOITURES.	
FO				
NO	Cie FRANÇAISE DU MATÉRIEL.	E. CHEVALIER.	Cie FRANÇAISE DU MATÉRIEL.	L. & E. DELETTREZ
Mazc et	Cie française.	E. Chevalier.	Cie française.	L. et E. Delettrez.
	Voiture pour voie de 0m,750.	Voiture à couloir central et à 2 trucks.	Wagon à toiture mobile pour voie de 0m,750.	Wagon plat à tamponnement et attelage central automatique.
1	ssorts en spirale.	Ressorts en spirale.	Ressorts en spirale.	12 couples Belleville
7	uteur 160 millim. iamètre extérieur 20 millimètres.	Hauteur 275 millim Diamètre extérieur 150 millimètres.	Hauteur 160 millim. Diamètre extérieur 120 millimètres.	100 × 35
0.	»	»	»	»
	Section 85/7		Section 85/7	
1	»	»	»	»
1	»	»	»	»
	»	»	»	»
0	0.034	»	0.034	0.0036
	»	»	»	»
4	»	»	»	»
	»	»	»	»
7	»	»	»	»
1	»	»	»	»
0	»	»	»	»
0	»	»	»	»
0	»	»	»	»
(	6k	»	6k	»

Paris. — Imp. E. Capiomont et V. Renault, rue des Poitevins, 6.

Longueur a la ceinture.	…ature …e la …ture.	Surface du plancher.	Cube de la caisse.	Limite du chargement.	Poids du véhicule sur roues.	Poids mort par tonne de chargement.	Prix du véhicule sur roues.	Prix par tonne de chargement.
m.		m2.	m3.	Kg.	K,	k,	fr,	fr,
»	n°14.	»	31.500	5.000	7.100	1.420	»	»
6.400	…d.	14.59	26.922	2.000	7.800	3 900	»	»
8.680	»	21.48	53.000	6.000	12.000	2.000	9.550	1591
5.420	»	13.50	12.217	10.000	5.950	595	»	»
»	»	»	»	Id.	5.400	540	»	»
6.040	…ne.	15.14	32.500	Id.	7.200	720	3.800	380
5.510	»	14.32	20.900	Id.	6.600	660	3 700	370
»	»	17.79	»	Id.	5 620	562	2.950	295
»	»	»	»	Id.	5.270	527	»	»
	»	»	»	10.500	7 500	715	»	»
3.050	…ois …t …le.	5.30	9.060	3.500	1.410	400	»	»
»	»	»	»	5.000	1.640	328	1.800	360

Paris. — Imp. E. Capiomont et V. Renault, rue des Poitevins, 6.

SIS	POIDS.		OBSERVATIONS.
LON ON / MENTS. / aces. / ta	POIDS du véhicule vide.	MAXIMUM de chargement.	OBSERVATION GÉNÉRALE. Les cotes précédées du signe * ne doivent être considérées que comme approximatives.
		(1)	(1) Chaque voyageur étant compté pour 75 kilogrammes.
pl... / pl. . } 24	»	1.650k.	
..... 14 / 8	»	1.050	Chauffage à la vapeur.
..... 18 / 9	»	1.350	Chauffage par l'appareil Thamm et Rothmuller.
11 à 18 / 7	12.600	975	Chauffage à briquettes.
..... 12 / 12	12.800	900	Chauffage par circulation d'eau chaude.
péciale.	»	»	Voiture à guérite et à frein. Éclairage au gaz.
jour. 23 / nuit. 19	9.720	1.725	»
..... 16 / 8	11.800	1.200	Chauffage syst. Lillienhook. W.-C. dans la voiture de 3e cl.
..... } 18	8.500	1.350	Chauffage système Lillienhoock.
18 { jour. et nuit. } 24	»	1.800	Chauffage à la vapeur. Voiture à 2 trucks.

CUES		OBSERVATIONS
R Di au c	Maximum de chargement. (1)	Observation générale : Les dimensions précédées du signe * ne doivent être considérées que comme approximatives. (1) Le poids du voyageur avec ses menus bagages est compté pour 75 kilogrammes.
	Kg.	
0,	2.700	Frein à vis manœuvré de la plate-forme.
*0,	1.950	Frein à vis à 4 sabots. — Ce véhicule est toujours accouplé à la voiture de 1re classe à couloir latéral.
1,	2.400	
0,		
	3.750	Chargement : 50 voyageurs (65 kil.) .... 3250 Bagages 500
0,	7.440	Approvisionnement machine ..... 2590 58 voyageurs .... 4350 Bagages .... 500 (pour les deux chargements :) Frein agissant sur les deux essieux d'arrière ; manœuvré de la plate-forme.
*0,	»	Ce wagon-poste est toujours accouplé à son fourgon.
*0,	»	Guérite et frein à vis à 8 sabots.
	»	2340 kil. de poids mort pour l'installation des appareils.
0		
	»	
	10.000	Frein à chaîne, système Becker. Poids du frein, 470 kil.
	»	Aucune donnée n'est parvenue sur ce véhicule.
0	8.000	Frein à vis à 4 sabots. Poids du wagon sans frein, 3200 kil.
0	8.000	

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

OCTOBRE 1880

N° 10

Pendant le mois d'octobre les questions suivantes ont été traitées :

1° *Allocution de rentrée par M. le Président.* (Séance du 1er octobre, page 411).

2° *Suspension des véhicules.* (*Système Delessert*) (Communication de M. Morandiere) (séance du 1er octobre, page 413).

3° *Viaduc métallique de Garabit* (Communication de M. Eiffel, sur le) (séance du 1er octobre, page 414).

4° *Machines motrices.* (Communication de M. Quéruel, sur les) (séance du 1er octobre, page 419).

5° *Dérochement.* (Communication de M. Hersent, sur les nouvelles méthodes de) (séance du 15 octobre, page 425).

6° *Exposition de Dusseldorf. Industrie du fer et de l'acier dans les provinces Rhénanes.* (Communication de M. Gautier (Ferdinand), sur l') (séance du 15 octobre, page 429).

7° *Odeurs de Paris.* (Lettre de M. de Coëne, sur les) (séance du 15 octobre, page 421).

Pendant le mois d'octobre la Société a reçu :

De M. Bernard, éditeur, un exemplaire du *Carnet, notes et formules de l'Ingénieur.*

De M. de Coëne, membre de la Société, une *Étude sur le port d'Anvers.*

De M. L. Aucoq, membre de l'Institut, une brochure intitulée : *Les tarifs des Chemins de fer et l'autorité de l'État.*

De M. F. Leblanc, professeur à l'École centrale, membre de la Société, une *Notice sur J.-F.-H. de la Morinière.*

De MM. Doussot et de Labry, ingénieurs en chef des Ponts et Chaussées, une *Note sur L'outillage national et la dette de l'État.*

De MM. Delesse et de Lapparent, les *Extraits de géologie pour les années* 1877 et 1878.

De M. Reinhardt, membre de la Société, deux exemplaires du Mémoire, rédigé en allemand et en français, que l'Union a adressé aux Gouvernements qui, en 1879, ont pris part à Berne, à l'élaboration d'un *projet de Convention internationale sur le transport de marchandises par chemin de fer.*

De l'Académie royale des sciences, lettres et arts de Modène, le volume XIX de ses *comptes rendus.*

De MM. Couvreux et Hersent, membres de la Société, une *Notice sur les nouvelles installations maritimes du port d'Anvers.*

De M. Janicki, membre de la Société, une *Note sur les divers moyens employés pour améliorer les conditions de navigabilité des rivières.*

De M. Prosper Hanrez, membre de la Société, une *Note sur la suppression des arrêts des trains de voyageurs. Description d'un système d accrochage des voitures par les trains en marche.*

De M. Dubosque, chef de bureau à la Compagnie du Nord, les *Etudes théoriques et pratiques sur les murs de soutènement et les ponts en maçonnerie.*

De M. Émile Raspail, membre de la Société, une brochure intitulée : *Des odeurs de Paris.*

De M. E. de Bocandé, ingénieur des arts et manufactures, les *Rapports sur le commerce des Etats-Unis, adressés à M. le Président de la Compagnie transatlantique* (mars-octobre 1879).

De M. Thomasset, membre de la Société : 1° le projet d'un *Chemin de fer international par la chaîne du mont Blanc ;* 2° une brochure de M. Chardon, sénateur, ayant pour titre : *Mont Blanc ou Simplon ;* 3° une autre brochure du *même titre*, par M. J. Philippe, député de la Haute-Savoie.

Les Membres nouvellement admis sont :

MM. Bon, présenté par MM. Chabrier, Gottschalk et Level.
Bresson, présenté par MM. Desgrange, Gottschalk et Mallet.
Franca Leite, présenté par MM. Bianchi, Faliès et Lejeune.
Jullien, présenté par MM. Bonneville, A. Moreau et Regnard.
Lamboi, présenté par MM. Barrault, de Comberousse et Demimuid.
Lhermitte, présenté par MM. Cahen Strauss, Carimantrand et Marché.
Mouchot, présenté par MM. Carimantrand, Mallet et Marché.
Poisat, présenté par MM. Carimantrand, Mallet et Marché.
Quenay, présenté par MM. Carimantrand, Marché et Morandiere.
Vallot, présenté par MM. Ivan Flachat, Delmas et Vallot.
Watel, présenté par MM. Moreau, Morpain et Vallot.

Comme Membres associés :

MM. Deullin, présenté par MM. Arnoult, Regnard et Mulat.
Loutreuil, présenté par MM. Chabrier, Gottschalk et Mallet.
Le baron E. de Rothschild, présenté par MM. Gottschalk, Jordan et Mathias.
Le baron G. de Rothschild, présenté par MM. Gottschalk, Jordan et Lévi Alvarès.
Vandermeylen, présenté par MM. Chabrier, Gottschalk et Mallet.

L'EXPOSITION DE DUSSELDORF

ET

L'INDUSTRIE DU FER ET DE L'ACIER

DANS LES PROVINCES RHÉNANES.

PAR M. F. GAUTIER

Les renseignements sur l'industrie métallurgique des provinces Rhénanes sont peu abondants en France. L'abstention de la Prusse à l'Exposition Internationale de Paris, en 1880, et le peu de notoriété que les résultats de l'Exposition de Vienne ont eu chez nous, ont laissé dans l'ombre la marche progressive de ces régions si voisines de nos frontières. Il importait de combler ce vide, et la réunion de l'*Iron and Steel Institute*, à Dusseldorf, en fournissait le moyen par les facilités spéciales, qui étaient données à tout le monde, de visiter les usines intéressantes et de prendre sur place des renseignements précieux.

Chargé par le Comité des Forges de faire un rapport sur l'Exposition de Dusseldorf, j'ai étendu le cadre qui m'était fixé et j'ai rassemblé les matériaux nécessaires à une étude d'ensemble sur la métallurgie des provinces Rhénanes.

Il y a, depuis quelques années, dans le monde industriel, une certaine réaction contre les Expositions universelles; on leur reproche d'être coûteuses pour les exposants, par les grands frais de transport qu'elles nécessitent; d'être fatigantes pour les visiteurs, par le trop grand nombre d'objets, sur lesquels est attirée l'attention; enfin, de flatter plutôt les amour-spropres nationaux que de fournir des renseignements d'une valeur véritablement pratique. En Allemagne, notamment, où les insuccès de l'Exposition de Philadelphie et les critiques méritées du professeur Reuleaux ne sont pas encore près d'être oubliées[1], on semble se borner aux expositions régionales. C'est ainsi que

1. Dans son rapport officiel, M. Reuleaux avait reproché, à l'industrie allemande en général, d'être *aussi mauvaise que bon marché* (BILLIG UND SCHLECHT).

de ce côté, il appartenait à Dusseldorf, qui est le centre incontesté de l'industrie allemande, de mettre en évidence, dans une spécialité importante, la *métallurgie du fer et de l'acier*, tout l'intérêt que peuvent avoir les expositions restreintes.

L'Exposition de Dusseldorf comprend la Westphalie, la Prusse Rhénane, le district de Wiesbade, les principautés de Lippe-Schaumbourg, Lippe-Detmold, Waldeck, Birkenfeld (Oldenbourg) et Hohenzollern.

Parmi les 22 sections dont elle se compose, nous ne parlerons ici que de celles qui sont relatives à l'industrie du fer et de l'acier; les numéros III et V.

La section III, est la *métallurgie proprement dite* et se compose d'une quarantaine d'exposants.

La section V renferme les *produits métallurgiques*, et est représentée par environ trois cents exposants.

Pour montrer l'importance de l'Exposition de Dusseldorf, relativement à la Prusse entière, nous comparerons entre eux les *nombres d'ouvriers employés dans les principales branches industrielles.*

DÉSIGNATION.	RÉGION RHÉNANE.	PRUSSE ENTIÈRE.	POUR 100.
Industrie générale........	1.192.236	3.625.918	32.5
Mines, métallurgie et salines.	226.202	361.406	62.0
Construction de machines..	42.401	174.509	24.0
Travail des métaux.......	100.995	246.953	41.0
Industrie textile..........	188.725	441.968	42.0
Papiers, draps, etc........	28.028	98.060	29.0
Totaux............	1.778.587	4.948.814	
Pour cent..........	35.7	100	

L'Exposition de Dusseldorf représente donc largement le tiers de l'industrie de l'Allemagne du nord, et la moitié la plus intéressante de l'industrie métallurgique, en ce qui concerne l'obtention des matières premières et l'élaboration des produits finis.

Avant de passer en revue ce qu'il y a de plus remarquable, nous parlerons successivement des différents éléments qu'empruntent les mines et la métallurgie et qui constituent, d'une manière générale, leurs conditions de développement et de succès.

Berlin, Offenbach et Hanovre ont montré ce que l'on pouvait obtenir.

CHAPITRE PREMIER

VOIES DE TRANSPORT.

Chemins de fer. — Quoique cette partie de l'Allemagne soit pourvue de nombreuses et belles routes bien empierrées, nous n'en parlerons pas, car la métallurgie et les mines, avec leurs produits encombrants, ne peuvent guère s'en servir. Le premier chemin de fer construit dans cette région, est celui de Dusseldorf-Erkrath, ouvert en 1838 et prolongé ensuite jusqu'à Elberfeld, en 1841.

Trois grandes lignes sillonnent maintenant de leurs réseaux entrelacés et souvent parallèles, le bassin métallurgique de la Ruhr. Elles permettent, aux produits des mines et des usines, de se diriger en tous sens et dans les conditions d'une concurrence raisonnable, ce sont : (Voir Planche 10)

1° Le **réseau Rhénan**, partant de Cologne, par la rive gauche du Rhin et desservant le quadrilatère Duisbourg-Dortmund-Hagen-Dusseldorf.

2° La Cie de *Cologne-Minden*, entrant par Dusseldorf et la rive droite du Rhin et sillonnant, de nombreux embranchements, toute la région située entre Ruhrort, Oberhausen et Dortmund.

3° La Cie *Bergisch-Mœrkisch*, qui pénètre partout, où vont les deux compagnies précédentes ; c'est au point qu'il est difficile de citer une station importante, qui, desservie par l'une d'elles, ne le soit pas aussi par celle du Bergisch-Mœrkisch.

4° Un réseau de chemins de fer d'usines, à la dimension de la voie normale pour la plupart, et dont le développement, pour les grandes usines de Krupp et de Bochum, qui n'est pas moindre de 20 à 30 kilomètres, rend les transports intérieurs faciles et économiques [1].

Ayant surtout en vue le bassin minier et métallurgique de la Ruhr,

1. Les embranchements industriels de la région de la Ruhr ont près de 700 kilomètres de développement.

je ne parlerai pas des autres réseaux desservant le pays de Siegen, la région de la Sarre, enfin toutes les autres parties de l'empire allemand, qui ont apporté leur contingent à l'Exposition de Dusseldorf. Il nous suffira de dire que les moyens de transport y sont *abondants*, en attendant que nous montrions qu'ils sont *économiques*.

Le tarif qui s'applique le plus communément pour une certaine distance, est ce qu'on appelle le *pfennig-tarif*, c'est-à-dire que *un quintal est transporté à un mille allemand pour un pfennig ;* en mesure française c'est 3,34 *centimes par tonne et par kilomètre*. On l'emploie pour la houille, le coke, les briques, les minerais, etc. Pour certaines directions et dans le cas surtout d'importation et d'exportation de matières premières, on emploie aussi des tarifs plus économiques encore, tels que 1,8 *centime par tonne et par kilomètre*, c'est un prix que nous ne rencontrons sur aucun chemin de fer français et *à fortiori* en Angleterre, où les transports s'exercent sur une faible longueur, mais à un prix plus élevé que la moyenne de nos tarifs industriels.

Voies navigables. — La principale voie navigable est le Rhin, desservi principalement par des remorqueurs et des transports à vapeur. En 1879, 1 280 000 tonnes sont descendues vers la Hollande et Rotterdam, tandis que 2 080 000 tonnes ont remonté le fleuve et se sont dirigées en partie vers Mayence et l'Allemagne du sud.

Il faut compter 3 à 4 francs par tonne pour le transport de Rotterdam à Ruhrort.

La Ruhr, la Lippe et la Lahn sont également navigables, dans une partie de leur parcours. Ces affluents du Rhin servent aux transports de cette région, mais beaucoup moins qu'on ne pourrait le supposer ; cela tient à l'abaissement des tarifs de chemin de fer.

Les canaux sont rares dans cette partie de l'Allemagne, contrairement à ce que nous voyons dans les pays voisins, la Hollande et la Belgique. Des projets sont à l'étude pour relier le bassin du Rhin à ceux du Weser et de l'Elbe par un réseau de canaux. Mais l'État, qui dépense si facilement l'argent des contribuables pour maintenir d'une manière permanente un état de guerre formidable, se préoccupe peu d'encourager ces efforts pacifiques ; les capitaux privés se portent de préférence sur les entreprises minières et métallurgiques et il ne se construit pas de canaux.

CHAPITRE II.

MAIN-D'ŒUVRE.

Le prix de la main-d'œuvre, en Prusse Rhénane et en Westphalie, n'est pas très différent de ce qu'il est dans la plupart des districts métallurgiques de la France.

La journée est généralement de *dix heures*, de six à six, avec repos de près de deux heures dans l'intervalle.

Un *manœuvre ordinaire* gagne de 2 fr. 75 à 3 fr. 10 par jour.

Un *ouvrier mineur*, réalise de 4 à 5 fr., suivant son habileté. Le développement rapide de l'exploitation houillère dans ces régions s'est fait en grande partie en attirant des bras inexpérimentés, aussi la valeur de ce genre d'ouvriers est-elle peu homogène.

Dans la construction et la mécanique, un *chaudronnier* gagne 8 fr. par jour, un *monteur*, 5 fr. 20, un *riveur à la main*, 4 fr. 50. Mais la plupart de ces travaux se faisant au marchandage, il faut compter que cette catégorie d'ouvriers gagne par un travail plus assidu et plus méthodique, 25 à 30 pour 100 de plus que le prix ci-dessus.

Nous terminerons ces considérations générales par les frais de main-d'œuvre du travail d'une tonne de fer brut.

Le puddlage se fait à deux hommes ou à trois hommes.

1° Puddlage à *deux hommes*.

PUDDLEURS	FONTES		RIBLONS.
	AU COKE.	AU BOIS.	
	fr.	fr.	fr.
N° 1...........	4.20	4.85	4.00
N° 2...........	3.00	3.24	2.50
Par tonne de puddlé...	7.20	8.05	6.50

Un four semblablement équipé fait 6 à 7 charges par douze heures.

La charge est de 350 kilogr. de fonte au bois ou 400 kilogr. de fonte au coke.

La différence de prix entre le travail de la fonte, au bois ou au coke, tient à la plus grande qualité que l'on demande dans le premier cas et aussi peut-être, à ce que l'on range dans les qualités au bois les fontes très chargées en manganèse, dont l'affinage est plus difficile.

2° Puddlage à *trois hommes*.

PUDDLEURS	FONTES		RIBLONS.
	AU COKE.	AU BOIS.	
	fr.	fr.	fr.
N° 1...........	3.10	3.70	3.10
N° 2...........	2.10	2.25	1.90
N° 3..........	2.00	2.10	1.50
Par tonne de puddlé..	7.20	8.05	6.50

Un four à trois hommes fait de 6 à 7 charges par douze heures : la charge est de 400 kilogr. de fonte au bois ou 450 kilogr. de fonte au coke.

Quant aux frais de *laminage* et de *martelage*, ils sont de 6 fr. 25 par tonne de fer puddlé.

CHAPITRE III.

CONSTITUTION DES SOCIÉTÉS INDUSTRIELLES.

Commencées, comme partout, sous la forme d'association d'un nombre restreint de commanditaires, beaucoup de sociétés se sont transformées, depuis quelque temps, en compagnies par actions (*Actien-Gesellschaft*). Cette transformation a permis, dans certains cas, d'entreprendre des opérations hasardeuses ou difficiles, comme le fonçage

de puits à travers des sables aquifères, ou de développer considérablement des industries ayant fait leurs preuves entre les mains d'un nombre restreint de propriétaires.

Ce n'est pas que la prospérité ait toujours été la conséquence de semblables développements. En consultant la cote des valeurs industrielles à la Bourse de Berlin, on ne trouve guère actuellement, que des sociétés, de beaucoup au-dessous du pair, malgré les droits protecteurs et la récente hausse dans les mines et la métallurgie.

Un grand nombre d'affaires sont encore, dans ce pays, la propriété d'un très petit groupe de personnes et d'autres établissements, comme ceux de Krupp, passent pour être plus ou moins directement soutenus par le trésor particulier de la famille impériale.

CHAPITRE IV.

HOUILLE.

Dans la partie de l'Allemagne du Nord, qui a concouru à l'Exposition de Dusseldorf, se trouvent plusieurs bassins houillers :

1° Le *Bassin de Minden*.

2° Le *Bassin d'Ibbenbüren* (près d'Osnabrück).

3° Le *Bassin de Wurm et Inde* (près d'Aix la Chapelle).

4° Le *Bassin de la Sarre*.

5° Le *Bassin de la Ruhr*.

Nous laisserons de côté les quatre premiers bassins, dont l'importance est relativement moindre et nous arriverons immédiatement au *Bassin de la Ruhr*.

Le *Bassin houiller de la Ruhr* est le plus important du continent européen. Il tire son nom de l'affluent de la rive droite du Rhin, la Ruhr, qui le parcourt dans la plus grande partie de son étendue.

De Duisbourg et Ruhrort, sur le Rhin, jusqu'à 70 kilomètres environ vers l'est, il possède une largeur de 20 kilomètres.

Dans cet espace relativement restreint, on extrait annuellement plus

de 20 millions de tonnes de houille, dont les deux tiers sont consommés dans le district et le reste est exporté, en Hollande, en Belgique, en Alsace et jusqu'à Paris d'une part, en Hanovre, à Berlin et jusqu'à la Baltique d'autre part.

Cette énorme production est le résultat d'un développement considérable dans les trente dernières années seulement. Connues et exploitées déjà dans quelques affleurements, dès le quatorzième siècle, les mines de la Ruhr ont suivi dans leur extraction la progression suivante :

1814	500 000	tonnes	
1850	2 000 000	»	
1860	4 490 000	»	
1870	11 570 000	»	
1880	22 500 000	»	au moins.

Une telle augmentation a été suivie, naturellement, d'un accroissement de population considérable: Essen, Bochum, Dortmund, sont maintenant de grands centres industriels; et, Dusseldorf, qui n'a pas de mines et où la métallurgie ne joue qu'un rôle secondaire, aura bientôt 100 000 habitants.

Les difficultés de fonçage des puits ont conduit à de grandes exploitations puissamment outillées, et le pays est loin de ressembler à cette forêt de chevalements à demi ruinés qu'on remarque en traversant le Staffordshire, en Angleterre, ou la région de l'huile aux États-Unis. Les installations y peuvent être citées comme des modèles ; leur architecture, dans le goût gothique, ne dépare pas le paysage, qui est fort beau dans la partie accidentée et un peu éloignée de la fumée des usines.

Les couches qui composent ce bassin houiller, présentent une succession de selles et de fonds de bateaux, recouvertes par des morts terrains, qui ont dénudé les parties supérieures. Le nombre de couches ayant plus de 50 centimètres d'épaisseur et qui sont exploitées, s'élève actuellement à 74. L'épaisseur totale de houille est de plus de 70 mètres ; c'est donc en moyenne un peu moins de un mètre par couche, mais un grand nombre d'entre elles ont une puissance de 3 mètres.

Comme nature, les charbons de la Ruhr peuvent se diviser en quatre systèmes superposés :

1° Les couches inférieures sont *maigres*.

2° Les couches du second système sont du *charbon de forge.*

3° Les *charbons gras à coke* dominent dans le troisième système et donnent, par la carbonisation, des produits de première qualité.

4° Enfin, dans la région supérieure, sont *les charbons à gaz*, analogues à ceux de Newcastle. Ils sont recherchés pour la métallurgie, le chauffage des chaudières et s'exportent en Hollande, en Belgique et jusque dans le nord de la France pour les usines à gaz.

On compte 15 couches dans les deux premiers systèmes renfermant les charbons maigres et de forge; 23, dans les charbons à coke et enfin 35 dans les charbons à gaz.

La région houillère de la Ruhr est loin d'être entièrement exploitée: sous le bassin crayeux de Munster et, peut-être, jusqu'à la mer du Nord, s'étendent de précieuses richesses, qui n'ont pu être encore entamées. Les difficultés deviennent insurmontables à l'art actuel des mines, quand il s'agit de lutter, à de grandes profondeurs, contre des terrains fissurés produisant des afflux d'eau considérables, ou quand on rencontre des sables mouvants et des argiles détrempées.

Les procédés de Kind et de Chaudron ont permis de surmonter quelques-uns de ces obstacles et si ces méthodes de fonçage perfectionnées ne se sont pas développées davantage, c'est que les extractions actuelles sont de beaucoup au-dessus des besoins.

Voici les résultats des deux premiers trimestres de l'année 1880 pour le district minier de Dortmund (Oberbergamt Dortmund bezirk).

1880. TRIMESTRE	HOUILLÈRES en exploitation.	NOMBRE d'ouvriers.	STOCK avant.	PRODUCTION.	STOCK après.	VALEUR de la tonne.
1	193	79.368	97.000t	5.720.000t	128.000t	fr. 6.00
2	201	77.941	128.000	5.123.000	150.200	5.95
Total...	»	»	»	10.843.000	»	»

Une production aussi considérable amène momentanément de grandes difficultés de vente. La lutte contre l'introduction des charbons anglais est très vive depuis quelques années, et ceux-ci ne pénètrent

plus actuellement par les ports de la mer du Nord et de la Baltique que pour 1,500 000 à 2,000 000 de tonnes. Il y a dans cette concurrence de grandes difficultés géographiques, car la distance d'Oberhausen à Hambourg est de 350 kilomètres, qui doivent être parcourus entièrement sur rails, tandis que les charbons anglais, généralement très rapprochés de la mer, peuvent arriver avec un fret modéré.

Les transports par rails sont surtout employés pour les charbons de la Ruhr, comme le montre le tableau suivant donné par le docteur Natorp.

Les 19 millions de tonnes de houille produites en 1878 se décomposent ainsi :

Expédié par rails	80,87
Expédié par terre	5,43
Expédié par la Ruhr et le Rhin	0,24
Carbonisé sur place	0,63
Brûlé par les houillères	6,93
	97,00

Au sujet de ces transports nous croyons devoir signaler l'appareil automatique à décharger les wagons, exposé à Dusseldorf par la Société minière et métallurgique Gutehoffnungshütte.

L'appareil automatique a pour but d'effectuer, de la façon la plus rapide et la moins coûteuse, le transbordement des combustibles, minerais, etc., des wagons de chemins de fer dans les bateaux, sous l'influence du poids du chargement et sans recours à aucune force extérieure autre que la gravité.

Ce but est atteint en plaçant le centre de rotation du plateau de telle sorte, que le centre de gravité du wagon plein et du plateau soit à droite et le centre de gravité du wagon vide et du plateau, à gauche du centre de rotation.

Un simple frein suffit ainsi à la manœuvre, dès que le wagon est suffisamment fixé au plateau, ce qui se fait en partie automatiquement.

Cet appareil plus simple que ceux du même genre installés généralement dans les ports de mer, fonctionne déjà dans les ports de Ruhrort et de Hochfelder, et permet de décharger 20 wagons par heure avec des différences de 5 mètres dans le niveau de l'eau.

Il s'est formé récemment à Bochum un *Comité d'exportation de la houille de la Ruhr dans la Méditerranée, par Rotterdam et Anvers*, quoique la distance moyenne de ce dernier port au centre du bassin

houiller soit de près de 220 kilomètres. On espère obtenir des frets inférieurs à ceux de Cardiff, en se fondant sur ce fait qu'il arrive souvent à des navires de se rendre sur lest dans le pays de Galles, en partant des ports de la Hollande ou de la Belgique, pour charger en Angleterre de la houille à destination de la Méditerranée.

Pour combattre, d'une manière plus effective encore, la dépréciation de la houille de la Ruhr, par suite de l'excès de l'offre sur la demande, il s'est formé, en 1879, un syndicat de la majorité des exploitants, sous le nom de *Société des intérêts miniers du district de Dortmund* (Verein für die bergbaulichen Interessen im Oberbergamtsbezirk Dortmund). Cette coalition déguisée, qui vient de se renouveler pour 1881, renferme 90 compagnies houillères sur 107. Elle limite la production de chaque exploitation à un maximum variant de 385 à 485 tonnes par jour, et les adhérents s'engagent à subir une amende de 1f 25 par tonne extraite au delà, jusqu'à concurrence d'une somme maxima de 125,000 francs; le produit de ces amendes est affecté aux caisses de secours respectives des Compagnies.

La régularité et la bonne allure des couches permettent une exploitation facile dans la Ruhr. Voici, pour en donner une idée, le prix de revient moyen d'une tonne en 1880 :

Abatage, chargement et transport à 40 mètres	1.05
Roulage, remblais et travaux préparatoires.........	0.83
Main-d'œuvre au jour.........................	0.45
Consommations diverses......................	0.83
Frais fixes et généraux.......................	1.12
	4.28

Un prix aussi bas, avec une qualité supérieure, permet d'obtenir des cokes renommés et dans des conditions excellentes.

La région des charbons à coke s'étend, depuis la rive droite du Rhin jusqu'à l'est de Dortmund, sur une longueur de près de 70 kilomètres et sur une largeur de 18 kilomètres. Plus de 80 houillères y exploitent 14 couches, dont la puissance est en moyenne de 1m 34.

La houille à coke est criblée en 5 numéros, au moyen de plaques métalliques ayant des trous ronds des diamètres suivants : 45 millim., — 27 millim., — 13 millim., — 5 millim.

La teneur en cendres varie de 10 à 15 pour 100 et est réduite par le lavage à 4 ou 5 pour 100, même pour les charbons les moins propres, ceux, par exemple, qui traversent les trous de 5 millim. de diamètre.

Les plus gros morceaux servent aux usages domestiques, à la production de la vapeur et autres emplois industriels. Le charbon menu, broyé et mélangé avec les poussières, sert à la fabrication du coke, dont la teneur en cendres ne dépasse jamais 6 à 7 pour 100. On semble même arriver couramment et commercialement au-dessous de ces chiffres inconnus aux usines métallurgiques françaises. La houillère de Maria-Anna et Steinbank, appartenant à la Société de Bochum, produit, avec le lavoir Lührig, des cokes, dont la moyenne de teneur en cendres est donnée dans le tableau suivant :

1879	Juillet	4,6	pour 100
	Août	4,7	—
	Septembre	4,5	—
	Octobre	4,7	—
	Novembre	4,7	—
	Décembre	4,8	—
1880	Janvier	4,8	—
	Février	5,0	—
	Mars	4,7	—

La fabrication du coke est très développée dans la Ruhr.

Le modèle le plus couramment adopté est le four Coppée ou four belge étroit. Il y a cependant encore environ 500 fours à boulanger, qui, tout en produisant de bon coke, ne rendent que 54 à 60 pour 100 et mettent 72 heures à carboniser 5 tonnes de charbon.

Les fours du modèle Coppée, au contraire, rendent 70 pour 100 et carbonisent en 48 heures 6 à 7 tonnes de charbon.

Voici approximativement la production du coke dans la Ruhr en 1879.

FOURS appartenant aux	NOMBRE de fours.	HOUILLE consommée.	COKE produit.	RENDEMENT Pour 100.	RENDEMENT Par an et par four.
		t.	t.		
Houillères....	2400	1.530.000	1.020.000	66,5	425
Forges.......	1700	1.057.000	750.000	71,0	440
Particuliers...	1200	765.000	510.000	66,5	425
Totaux....	5300	3.352.000	2.285.000	68,0	430

Nous arrêterons là l'étude du bassin houiller de la Ruhr; si nous consultons les cours des charbons sur le marché de Dortmund ou d'Oberhausen, nous trouvons, à la date du 13 août 1880, les prix suivants par tonne, mais pour des livraisons par wagons complets de 5 à 10 tonnes.

Charbons

Gros	9f 30	à	10 fr.
Charbon gras, tout-venant	6 70	—	7f 50
Charbon à gaz, tout-venant	7 »	—	8 »
Charbon lavé, Noisettes n° 1	9 30	—	10 »
id. n° 2	8f 30		
id. n° 3	7 fr.	à	7f 50
Débris	5 fr.		
Charbon à coke criblé	5 fr.	à	6f 50
Charbon domestique	5f 50	—	6f 25

Cokes

N° 1	11f 25	à	12 fr.
N° 2	9 25	—	10 fr.

Tout ce qu'il faut retenir de ce nombre, c'est qu'au point de vue métallurgique, on peut avoir dans la Ruhr, *de la houille à* 5 *ou* 6 *francs et du coke très bon à* 9 *ou* 10 *francs la tonne*. Ajoutons, de plus, que la plupart des établissements métallurgiques sont propriétaires de houillères et, par conséquent, à l'abri des fluctuations du marché charbonnier.

Cet état d'abondance, ces conditions si avantageuses pourront-elles durer longtemps? Tout porte à le croire. Les évaluations les plus récentes portent à *cent milliards de tonnes de houille* la quantité existante, sans aucun doute. En supposant, ce qui est peu probable, que ce bassin houiller arrive, à lui tout seul, à exploiter 140 millions de tonnes, c'est-à-dire autant que toute l'Angleterre réunie, *il y aurait du charbon pour* 700 *ans encore*.

CHAPITRE IV.

MINERAIS DE FER.

Nous avons vu que la partie de l'Allemagne, dont nous nous occupons en ce moment, est dans des conditions remarquablement avantageuses au point de vue des combustibles ; la région métallurgique de la Ruhr ne passe pas pour aussi heureusement douée au point de vue des minerais, car il est à la connaissance de tout le monde que ce pays était, jusqu'à ces dernières années, inondé de fontes anglaises pour le Bessemer, comme pour le moulage. Il y a cependant, dans ce pays, de grandes richesses minières, que nous allons passer en revue rapidement.

1. *Hématites rouges et brunes du Nassau.* — Ces gisements, qui sont en général la propriété des usines de la Ruhr (Krupp, Phœnix, Gutehoffnungshütte, Rheinische Stahlwerke) se divisent en deux catégories :

A. *Hématites de la Vallée de la Lahn.* — Ce sont des peroxydes de fer, en général peu siliceux ; quelquefois la teneur est de 40 à 42 pour 100 avec gangue calcaire ; souvent il y a un peu de manganèse et alors la teneur s'élève à 40 et 49 pour 100 ; enfin, dans quelques endroits, on peut trouver jusqu'à 52 et 57 pour 100 de fer.

En 1878, ce district a produit 268,000 tonnes de minerai de fer et 178 de minerai de manganèse.

En général, ces minerais sont un peu phosphoreux, souvent aux environs de deux millièmes ; aussi, comprend-on que jusqu'à présent ils n'aient pu, sans triage, servir à la production de la fonte Bessemer.

B. *Hématites de la Vallée de la Dill.* — Ces hématites, dont la production est beaucoup moins importante que celles de la Lahn, sont intercalées dans des diorites ; elles sont donc essentiellement siliceuses et renferment un peu de phosphore. L'extraction, en 1878, n'a été que de 26,000 tonnes.

L'hématite rouge de Beilstein, près de Dillenbourg, renferme :

Fer	49.6
Manganèse	0.25
Silice	15.50
Alumine	9.10
Chaux	3.91
Magnésie	0.53
Phosphore	0.32

Dans la vallée de la Dill, les hématites sont quelquefois quartzeuses et l'exposition officielle de l'Inspection des mines de Dillenbourg et Weilbourg montrait des échantillons fort intéressants de minerais enrichis par une préparation mécanique.

Jusqu'à présent, on ne connaissait guère, en fait de préparation mécanique des minerais de fer, que le *lavage et le débourbage*, nous voyons là un nouvel élan donné à cette partie de l'art des mines ; nous n'osons considérer cela comme un progrès à imiter ; l'enrichissement du minerai de fer est indubitable, comme le montrent les échantillons de la mine Beilstein.

	Avant préparation.	Après.
Fer	28	61
Silice	22	6
Alumine	6,5	0 3
Chaux	13	1,5
Phosphore	0,273	0,143

Mais cet enrichissement est dû à un travail, qui ne doit pas manquer d'être assez coûteux en main-d'œuvre, en usure d'outils et de matériaux, sans compter la force motrice. Il eût été intéressant de connaître les frais de cet enrichissement, qui a surtout un grand inconvénient, c'est de rendre le minerai menu et par conséquent difficile à traiter en grande quantité au haut fourneau.

Il faut croire cependant que cette préparation mécanique peut être une opération commerciale, car, outre l'exposition officielle des mines, M. Jung, de Dillenbourg, nous montre du minerai d'hématite passant de 38 pour 100 à 60 pour 100 de fer par le lavage, et provenant de la mine Unwerhofft Glück.

Nous voyons aussi des hématites de Stillingseisenzug, qui passent d'une teneur de 43 pour 100 à 54 et 56 pour 100 par une préparation mécanique.

En présence des demandes croissantes de minerais non phosphoreux

pour Bessemer, depuis les droits d'entrée mis sur les fontes d'hématite anglaise, cette industrie de la préparation mécanique des minerais de fer semble être devenue, dans cette partie de l'Allemagne, une opération pratique et lucrative.

2° *Minerais carbonatés de Siegen.* — On rencontre dans les couches inférieures du terrain dévonien et dans la vallée de la Sieg (affluent de droite du Rhin) des gisements importants de fer carbonaté, manganésifère. Ces gisements ont amené dans ce pays toute une industrie particulière, ayant une certaine analogie avec la Styrie et la Carinthie et fondée primitivement sur l'emploi du charbon de bois. Actuellement l'industrie de Siegen dépend de la Ruhr par les cokes qu'elle lui demande en abondance et par les minerais et les fontes qu'elle lui envoie ; c'est le pays d'origine du *Spiegeleisen* ou *fonte miroitante*, *fonte à facettes*, comme on l'appelle aussi et qui doit sa structure lamelleuse au manganèse qui y est contenu.

Le minerai de Siegen non grillé peut être caractérisé par l'analyse suivante :

Silice	5,8
Alumine	1,7
Manganèse	7,4
Fer	35,2
Chaux	0,7
Magnésie	0,7
Oxyde de cuivre	0,1

La perte au feu est de 48 à 50 pour 100.

Quelques parties de ces gisements sont un peu phosphoreuses et renferment jusqu'à 1 et 2 millièmes de phosphore.

La quantité extraite en 1878 s'est élevée à 934,000 tonnes d'une valeur de 10 francs environ à la mine d'après les statistiques officielles.

La partie supérieure du gisement renferme de l'hématite brune et même de l'hématite rouge et du fer oligiste. Il y a eu là, certainement, une sorte de grillage naturel du carbonate de fer des filons ; le fer est passé, de l'état de protoxyde à celui de peroxyde anhydre ou hydraté, suivant que les influences oxydantes ont été accompagnées ou non de vapeur d'eau.

L'hématite brune manganésifère de Siegen renferme :

DÉSIGNATION.	MINE DE KRUPP.	GIESSEN.
Fer	42,9	25 à 28
Manganèse	12,58	18 à 19
Chaux	1,39	—
Magnésie	0,43	0,9
Silice	5,87	14
Alumine	3,30	6 à 8,66
Phosphore	0,09	0,14
Soufre	—	0,06

Les mines appartenant à la C[ie] du Phœnix donnent des hématites brunes manganésifères ayant la composition suivante :

DÉSIGNATION.	ADAMSFUND	LANGENBACH.	ROTHENBERG.	FICHTENSTUCK.
Fer	34,05	48,23	43,49	39,97
Manganèse	7,43	5,31	1,21	11,46
Chaux	1,28	2,45	3,16	0.72
Magnésie	0,02	1,12	0,88	0,25
Alumine	10,21	2.60	7,31	7,57
Silice	16,20	6,51	14,06	8,89
Acide phosphorique	0,71	0,69	0,71	0,40
Soufre	0,03	0,04	traces.	—
Perte au feu	10,86	10,08	6,87	9,47

La partie inférieure est tout entière du fer carbonaté plus ou moins mélangé de carbonate de manganèse.

Minerais houillers et argileux. — La formation houillère de la Ruhr renferme des dépôts assez abondants de minerai carbonaté de la nature des blackbands anglais. Ils sont surtout développés dans les environs de Hœrde, et constituent des rognons (sphœrosidérites) argileux.

Voici quelques analyses de ces minerais grillés.

			Neu-Essen.
Fer	42	48 à 53	45
Manganèse	0,75	1 à 6,5	1,5
Phosphore	0,5	0,8 à 1	0,5

Le minerai de Klosterbusch renferme :

Fer	46,70
Manganèse	1,42
Chaux	3,21
Magnésie	4,03
Alumine	5,88
Silice	16,49
Phosphore	0,45
Soufre	0,14
Perte au feu	21,11

Nous donnerons aussi l'analyse de sphœrosidérites crues provenant de ces régions.

DÉSIGNATION.	HAARDT PRÈS BONN.	GOTTESSEEGEN.
Carbonate de fer	76,11	74,37
Carbonate de manganèse	3,56	2,79
Carbonate de magnésie	1,45	2,50
Carbonate de chaux	2,48	2,93
Peroxyde de fer	2,77	6,69
Alumine	8,88	2,87
Silice	3,54	4,84
Pyrite de fer	1,23	1,07

Le Phœnix extrait de ses mines les types suivants de minerais argileux.

DÉSIGNATION.	WALDWIESE.	GLUCKAUF.	SPERBER.
Fer	30,50	33,60	36,16
Manganèse	10,60	2,07	2,86
Chaux	5,55	2,47	1,38
Magnésie	0,63	0,56	2,07
Alumine	8,22	10,96	3,64
Silice	11,60	24,30	11,50
Phosphore	0,22	0,35	0,32
Soufre	0,90	0,12	0,36

Non grillés, les minerais houillers de la Ruhr ont la composition suivante :

DÉSIGNATION.	BOCHUM.	MINE FREDERICK.	MINE SCHURBANK.	MINE SPROCKLOVEL.
Carbonate de fer........	60.15	77,72	47,24	62,24 à 72,61
Carbonate de manganèse..	»	0,21	»	»
Carbonate de magnésie...	2,40	2,51	4,40	»
Carbonate de chaux.....	1,53	1,02	»	»
Peroxyde de fer.	0,94	1,30	7,46	»
Alumine.	6,64	0,77	»	»
Silice.	1,03	0,93	0,81	»
Eau............... .	4,96	0,92	4,14	»
Sulfate de chaux........	0,29	0,05	»	»
Carbone.	21,27	14,61	14,61	12 à 19

Les minerais houillers de Westphalie sont très phosphoreux, au point d'être employés quelquefois comme matière première pour superphosphate; ainsi, une couche, près de Kirchhœrde, renferme 20 à 25 pour 100 d'acide phosphorique et 15 à 20 pour 100 de fer; une couche près de Sprockhœvel renferme de 30 à 60 pour 100 d'acide phosphorique.

Hématite Siliceuse. — Un minerai peu connu en France et que l'exposition de Düsseldorf a révélé comme jouant un certain rôle dans le roulement des hauts fourneaux Bessemer du pays, c'est l'hématite brune de Schwelm, entre Hagen et Elberfeld.

C'est un peroxyde de fer hydraté renfermant une assez forte proportion de silice non combinée et d'argile.

Peroxyde de fer........................	52,40
Oxyde de manganèse....................	0,56
Alumine..............................	9,55
Chaux................................	0,55
Magnésie.	0,74
Phosphore............................	0,03
Soufre...............................	0,17
Silice...............................	22,00
Perte au feu.........................	12,12
Fer..................................	32,68
Manganèse.	0,38

La silice se réduit, grâce à la température élevée que nécessite la fusion de l'alumine en présence. C'est ainsi qu'à Barrow, en Cumberland, pour augmenter la proportion de silicium dans les fontes Bessemer, on ajoute des minerais très alumineux d'Irlande.

Le minerai de Schwelm est donc un minerai de silicium non phos-

phoreux; aussi son exploitation augmente-t-elle, à mesure que la fabrication des fontes Bessemer tend à s'implanter davantage dans le pays, au détriment de l'importation anglaise. Son exploitation a lieu, à ciel ouvert, dans des argiles renfermant des couches de pyrite. Il en a été extrait l'an dernier 82,000 tonnes, d'une valeur de 6 à 7 francs à la mine. Quant à la pyrite qui l'accompagne, et dont on a extrait 32,000 tonnes, d'une valeur de 19 à 20 francs, elle est traitée pour acide sulfurique dans différentes usines, puis pour cuivre et argent, à la fabrique de produits chimiques de Duisbourg, et les résidus servent ensuite à la fabrication de la fonte.

Minerais des tourbières et des prairies. — Ce sont des minerais essentiellement phosphoreux, mais d'une réduction facile. Ils se rencontrent en assez grande quantité dans la partie nord, en s'approchant de la Hollande. Ils renferment :

Fer	45 à 50
Silice	8 à 10
Phosphore	0,5 à 1,3

Voici l'analyse du minerai de prairies des environs de Sterkrade (Gutehoffnungshütte).

DÉSIGNATION.	1.	2.
Peroxyde de fer	76.80	52.73
Alumine	1.00	6.33
Silice	6.52	27.39
Eau	13.78	11.26
Acide carbonique	0.30	0.19
Acide phosphorique	1.42	1.90

Résidus de Pyrites. — La fabrique de produits chimiques de Duisbourg traite des résidus de pyrites plus ou moins cuivreuses, provenant surtout d'Espagne et de Portugal. Elle livre, après traitement chlorurant et précipitation du cuivre et des autres métaux, des oxydes de fer ou *blue-billy* que leur pauvreté en phosphore fait rechercher, pour la fabrication des fontes Bessemer.

Ces oxydes renferment :

Fer	65 à 66
Soufre	0,25
Cuivre	0,05

Le soufre est combattu par la chaux et le manganèse du lit de fusion, et quant au cuivre, il n'est pas en proportion assez forte pour nuire. Cependant, l'état pulvérulent de ce minerai ne permet pas d'en passer une grande quantité au haut fourneau.

La Duisburger Kupferhütte a livré l'an dernier, aux usines à fer du pays, 25,000 tonnes de résidus de pyrites.

Scories. — On traite une assez grande proportion de scories de réchauffage et de puddlage, quand on veut obtenir des fontes communes.

Comme ailleurs, ces scories renferment 45 à 50 pour 100 de fer, quand elles proviennent du réchauffage et jusqu'à 60 pour 100, quand elles proviennent du puddlage; mais alors, elles ont jusqu'à 3 et 5 pour 100 de phosphore.

Minerais étrangers. — La Westphalie consomme une grande quantité de minerais étrangers, soit pour leur richesse et leur pureté (Bilbao, Mokta, île d'Elbe), soit pour la fabrication du ferromanganèse dont nous parlerons plus loin. Cette quantité s'est élevée à 256,000 tonnes pour l'année 1878.

Il nous reste à dire quelques mots de la castine employée.

Castine. — Elle provient du calcaire carbonifère et présente une teinte grise veinée de filons de carbonate de chaux cristallisé.

Il y en a de très pure, comme le montre l'analyse suivante :

Carbonate de chaux....................	99,76
Carbonate de magnésie..................	0,10
Matières organiques....................	0,02
Silice, alumine, oxyde de fer.............	0,05
Acide phosphorique....................	traces.

Le tableau suivant résume l'exploitation minière des districts de Dortmund et de Bonn, d'après les renseignements officiels, et pour l'année 1878.

DISTRICT DE DORTMUND.					
DÉSIGNATION.	MINES.	PRODUCTION		OUVRIERS EMPLOYÉS	
		EN TONNES.	VALEUR.	DIRECTEMENT.	INDIRECTEMENT.
		kil.	fr.		
Houille..........	210	19.208.000	5.60	74.364	130.000
Minerai de fer.....	16	418.000	5.30	1.584	2.000
DISTRICT DE BONN.					
Houille..........	32	5.568.000	9.30	27.709	60.000
Lignite..........	54	146.000	4.60	888	2.000
Minerai de fer.....	550	1.761.000	10.60	16.774	35.000
— de manganèse	15	4.000	45.00	195	300

Il est difficile de séparer la Ruhr du reste de l'Allemagne; il est intéressant, en tout cas, d'avoir le tableau résumé de la production et de l'importation des minerais de fer, pour toute l'étendue de l'Empire et pour l'année 1878.

DÉSIGNATION.	TONNES.	MINES EN ACTIVITÉ.	NOMBRE D'OUVRIERS.
Prusse.			
District de Breslau.			
Silésie : Liegnitz	1.846	2	8
— Oppeln	551.579	5	2.928
District de Halle.			
Saxe : Magdebourg	177	1	2
— Mersebourg	4	1	5
— Erfurt	50.527	3	239
District de Dortmund.			
Hanovre : Osnabrück	187.640	4	587
Westphalie : Münster	15.849	3	71
— Minden	546	2	7
— Partie d'Arnsberg	209.014	3	898
Prov. Rhénane : Düsseldorf	5.605	2	71
District de Bonn.			
Prov. de Westphalie : Arnsberg	486.808	129	4.958
Prov. de Hesse-Nassau : Wiesbade	460.368	180	3.570
Prov. Rhénane : Coblentz	782.576	210	7.903
— Cologne	6.234	11	84
— Trèves	4.189	9	56
— Aix la Chapelle	17.275	11	203
District de Clausthal.			
Prov. de Hanovre : Hildesheim	164.166	21	338
— Hesse-Nassau : Cassel	6.790	8	112
Bavière.			
District de la Haute Bavière	1.848	2	20
— du Haut Palatinat	83.653	12	431
— de la Haute Franconie	1.675	11	40
— de la Franconie moyenne	2.887	2	14
— de la Souabe	846	6	28
Saxe	10.551	36	271
Würtemberg	19.123	3	174
Hesse	93.074	11	454
Thüringe	11.294	26	179
Brunswick	43.981	8	168
Waldeck	3.398	6	43
Alsace-Lorraine	822.360	17	1.539
Total de l'Allemagne	4.045.883	788	25.352
Luxembourg	1.411.218	36	2.393
Total	5.457.101	822	27.745

Au point de vue de la nature des minerais, on peut classer la production de la manière suivante :

		Pour 100.
Hématites brunes	3.730.660	68,2
Hématites rouges	740.918	13,6
Oxyde magnétique	73	»
Minerais spathiques	830.198	15,3
Minerais carbonifères	155.252	2,9
	5.457.101	100,0

Voici quelles ont été les *Importations de minerai de fer en Allemagne* pour l'année 1878 :

Par la mer du Nord.	551	tonnes
La Russie	8,827	»
L'Autriche.	24,035	»
La Suisse.	0,1	»
La France.	29,419	»
La Belgique	1,725	»
Les Pays-Bas	255,976	»
Brême.	609	»
Hambourg.	200	»
	321,342,1	»

On voit que sur 321,342 tonnes, la majeure partie 255,976, c'est-à-dire 79 pour 100, est passée par les Pays-Bas ; à l'exception de quelques milliers de tonnes, qui peuvent provenir des tourbières de la Hollande, le reste a emprunté le port de Rotterdam et provenait d'Afrique, d'Espagne et de l'île d'Elbe.

Pour l'année 1879, nous pouvons ajouter :

Minerais extraits	5,790,000	tonnes
» importés	290,000	»
» exportés	1,033,000	»

Pour l'année 1879, et le district de Bonn, nous trouvons les documents officiels suivants :

DÉSIGNATION.	MINES.	PRODUCTION		OUVRIERS EMPLOYÉS	
		EN TONNES.	VALEUR.	AU FOND.	AU JOUR.
		kil.	fr.		
Houille.	30	5.769.000	8.90	22.374	4.994
Lignite.	53	151.000	4.80	499	381
Minerai de fer.	471	1.839.000	10.30	13.315	4.906
Minerai de manganèse	31	4.900	38.00	77	105

CHAPITRE VI.

FONTE.

On produit en Westphalie et dans les provinces Rhénanes plusieurs qualités de fonte que nous passerons successivement en revue.

1° **Fonte supérieure d'affinage** (blanche et grise). — On l'obtient avec des hématites rouges du Nassau, des hématites brunes manganésifères et une certaine proportion de minerai spathique de Siegen. Elles sont blanches ou grises, suivant que l'allure du fourneau, qui est toujours basique pour éviter le silicium et le soufre, est à une température plus ou moins élevée.

De semblables fontes s'obtiennent avec 1,200 k. de coke et un lit de fusion à 48 pour 100. La production par 24 heures est très grande et dépasse de beaucoup 50 tonnes.

2° **Fonte blanche ordinaire pour affinage**. — On obtient cette fonte de seconde qualité avec un mélange d'hématite du Nassau, de minerai de Siegen, de minerai de tourbières, de minerai houiller et de scories de réchauffage. Le lit de fusion est de 44 pour 100 et la production par 24 heures de 75 tonnes au minimum.

3° Le **Spiegeleisen**. — Cette fonte lamelleuse manganésifère était, il y a vingt ans, le monopole du pays de Siegen. On la faisait primitivement au charbon de bois et c'est l'usine d'Hochsdale qui commença à la faire au coke. On emploie pour cette fabrication, des minerais spathiques peu phosphoreux, et des hématites brunes très manganésifères. Il faut une haute température et une marche en laitiers très basiques.

Les hauts fourneaux au bois, qui servaient autrefois exclusivement à cette fabrication, avaient 8 à 10^m de hauteur totale, $1^m,50$ de hauteur de creuset, 1^m à $1^m,50$ de diamètre au gueulard et 3^m à $3^m,50$ au ventre. Il n'y a plus, actuellement, que 2 hauts fourneaux au bois fai-

sant du spiegel dans le pays de Siegen, tandis que 34 hauts fourneaux au coke se livrent à cette fabrication, concurremment avec celle des fontes d'affinage, des fontes Bessemer et de moulage.

Les hauts fourneaux au coke pour spiegeleisen ont actuellement les dimensions suivantes :

Hauteur totale	13^m,8 à 16^m
Hauteur du creuset	2,5 à 2,8
Gueulard	3^m
Au ventre.	4,4 à 5^m,3
Au creuset	1,3 à 2,2

Le nombre des tuyères varie de 4 à 7.

La consommation de coke est de 1,100 à 1,300 k.

La production par 24 heures est considérable, elle est de 70 à 80 tonnes. Cette production s'abaisse à 30 ou 40 tonnes, quand on obtient des produits plus riches en manganèse, des spiegels à 15 et 20 pour 100, par exemple.

La substitution du coke au charbon de bois, a fait passer la teneur en manganèse, de 5 pour 100 à 8 et 12 pour 100.

Naturellement, les minerais carbonatés de Siegen subissent un grillage avant d'être employés sur place ou expédiés dans le bassin de la Ruhr. Ce grillage a lieu dans des fours, qui ne présentent aucune particularité bien remarquable ; le combustible est du menu coke provenant des déchets de halles.

4° **Ferromanganèse.** — Lorsque la teneur en manganèse dépasse 25 pour 100, la structure lamelleuse du produit fait place à une apparence grenue ; en même temps, le métal cesse d'être attirable à l'aimant, c'est du *ferromanganèse.* On l'emploie comme réducteur de l'oxyde de fer dans la métallurgie de l'acier. Dans l'affinage par oxydation, où le produit reste à l'état fondu, comme dans les opérations Bessemer ou Siemens-Martin, il est impossible d'arriver à la décarburation complète, sans laisser dans le métal de l'oxyde de fer en dissolution. Pour réduire cet oxyde de fer et le faire passer dans la scorie, on utilise l'affinité que le manganèse possède pour l'oxygène, à un plus haut degré que le fer. Mais comme il serait très difficile de pro-

duire du manganèse pur [1] et impossible de le conserver à l'air autrement que sous une couche d'huile de naphte, comme on fait pour le potassium ou le sodium ; on l'emploie en alliage avec du fer et combiné à une certaine proportion de carbone, c'est ce qui constitue le *ferromanganèse*. Comme l'addition de ferromanganèse à un bain d'acier fondu apporte du carbone, en même temps que du fer qui se dissout et du manganèse qui s'oxyde en majeure partie, il est important d'ajouter le moins possible de cet alliage, si on veut conserver à l'acier sa douceur primitive ; aussi recherche-t-on les ferromanganèses les plus riches pour la fabrication des aciers doux.

On voyait exposé, du ferromanganèse à toutes les teneurs depuis 30 jusqu'à 80 pour 100. — Trois usines en montraient de fort beaux échantillons, *Gutehoffnungshütte* (25 à 75 pour 100), *Phœnix* (80 pour 100) et *Hœrde*, différentes teneurs.

Les minerais qui servent à cette fabrication en Allemagne, viennent surtout de l'étranger, sauf quelques-uns, peu abondants, il est vrai, que l'on rencontre dans le pays de Siegen, tels que celui de la mine Heinrich, près de Staffel, et qui renferme 28 de manganèse et 22 de fer. L'Espagne en fournit beaucoup : Huelva, 47 pour 100 de manganèse ; Villaria Carbonera, 44 pour 100 ; le Portugal, 45 pour 100 ; la Suède, 50 pour 100 ; la Nouvelle-Zélande, 56 pour 100, enfin, le Canada et l'Australie, avec des teneurs également élevées.

La fabrication du ferromanganèse est une industrie difficile ; il faut une haute température et des lits de fusion calculés pour faire passer la majeure partie du manganèse dans le métal.

Imaginée primitivement par Henderson, en Angleterre, la fabrication de l'alliage à 25 pour 100 seulement, est passée de la sole du four Siemens au haut fourneau.

Les résultats de Schysshytta, en Suède, et de Sava, en Carniole, avaient montré qu'on pouvait obtenir ainsi 18 pour 100 de manganèse, puis 35 et 40 pour 100. Les travaux de Prieger, au creuset, et de Terre-Noire, au four Siemens, avaient réalisé l'alliage à 80 pour 100, mais à un prix élevé. Presque simultanément, les usines de Montluçon, de Saint-Louis et de Terre-Noire réussissaient au haut fourneau

1. On voyait, à Düsseldorf, du manganèse presque pur renfermant 92 à 94 p. 100 avec 5 à 6 p. 100 de carbone et des traces de fer. Il était exposé par Isabellen-Hütte, près de Dillenburg en Nassau, et était destiné à la production d'alliages de cuivre et de manganèse ou *cupro-manganèse*. Peu ou point garanti contre l'action de l'air, il commençait à s'oxyder dans la partie centrale du culot.

les teneurs les plus élevées et à des prix dix fois plus bas qu'en employant le creuset et le four Siemens ; la fabrication pratique du ferromanganèse était réalisée.

L'Allemagne, avec ses cokes purs et ses conditions économiques excellentes, devait se livrer tôt ou tard à cette industrie qui consomme beaucoup de combustible. Sa position, peu éloignée de la mer, lui permet également de s'approvisionner de minerais étrangers, et d'exporter dans de bonnes conditions.

5° **Fontes Bessemer.**— Jusqu'à ces derniers temps, on faisait peu de fontes Bessemer en Allemagne, on les achetait au Cumberland. Il faut attribuer ce fait au peu d'abondance des minerais purs et à l'excès de manganèse que renferment ceux qui le sont.

Les fontes Bessemer, que l'on fabrique en Allemagne, ont 2 à 3 pour 100 de silicium avec 3 à 3,5 pour 100 de graphite et une proportion de manganèse, qui est relativement très élevée, 3 à 3,5 pour 100. — On les obtient en allure très chaude et laitiers basiques. On emploie pour cela, des minerais étrangers, Bilbao, Mokta, île d'Elbe, en mélange avec des minerais de Siegen (carbonatés grillés, ou hématites brunes), quelques minerais choisis du Nassau, l'hématite brune de Schwelm, qui fournit le silicium, et enfin des résidus de pyrites deux fois grillés.

On distingue 3 numéros de gris et un de truité. Ce dernier ne peut se traiter seul ; on l'ajoute à de la fonte très siliceuse et au moment où commence la combustion du carbone.

La présence du manganèse, en quantité assez notable dans les fontes Bessemer allemandes, donne une grande fluidité à la scorie. Elle a permis aussi de faire des opérations sans addition de spiegel ou de ferromanganèse et en se guidant par des prises d'essai des scories ; la couleur café au lait que présentent celles-ci, s'obscurcit peu à peu à mesure que de l'oxyde de fer se peroxyde.

6° **Fontes Thomas.** — A côté des fontes Bessemer de qualité supérieure, il faut dire quelques mots des fontes extraphosphoreuses destinées à l'opération basique. On ne peut dire que cette fabrication existe d'une manière courante, on l'obtient par des mélanges, que l'on fond au cubilot. Cette fusion, qui est toujours coûteuse, quelque bon marché que soit le coke, ne tient pas, contrairement à ce qu'af-

firmaient certaines personnes, à l'insuffisance de chaleur qu'aurait de la fonte phosphoreuse, blanche et non siliceuse, sortant du haut fourneau. Les usines allemandes, qui travaillent actuellement la déphosphoration au Bessemer, *Rheinische Stahlwerke* et *Bœrde*, emploient le cubilot, parce que c'est commode pour les mélanges de fontes, dont elles ont besoin dans leurs tâtonnements et leurs essais ; c'est aussi, *parce que les hauts fourneaux où ils pourraient prendre leur fonte, sont à un kilomètre de là ou parce que ces usines n'ont pas de hauts fourneaux;* mais, en ce qui concerne la température des fontes blanches prises directement, il faut la considérer, en général au contraire, comme supérieure à ce que l'on peut obtenir au cubilot et l'expérience actuelle du Creuzot le montre bien.

7° **Ferro-phosphore.** — On se rappelle le bruit qui s'est fait, il y a six mois, autour de cet alliage nouveau, destiné à communiquer aux fontes à déphosphorer un supplément de phosphore et, par suite, un excédent de chaleur à l'opération. On pouvait voir à l'Exposition plusieurs échantillons de cette curiosité métallurgique, dont la teneur en phosphore n'était pas indiquée d'ailleurs.

Il est peu probable que cet alliage nouveau ait le moindre avenir ; il est si facile d'incorporer au haut fourneau la quantité de phosphore nécessaire, en ajoutant au lit de fusion une certaine proportion de scories de l'opération Thomas, qu'il semble inutile de faire un produit spécial dans ce but.

A côté du ferro-phosphore, il est impossible de passer sous silence la *fonte d'Ilsède*, qui sert, dans les essais actuels de déphosphoration, de véritable source de phosphore. Ilsède est située près de Peine, au pied du Harz, entre Hannovre et Brunswick. Le minerai, assez phosphoreux dans certaines parties pour pouvoir servir d'engrais, est extrait dans une carrière à ciel ouvert et est fondu, sans castine, en mélangeant deux qualités différentes qu'il renferme et dont voici l'analyse :

	N° 1.	N° 2.
Fer	36,75	27,65
Manganèse	3,80	4,23
Alumine	5,23	0,89
Chaux	3,36	20,34
Magnésie	0,36	
Phosphore	1,69	0,96
Silice	8,64	5,22

On obtient ainsi deux sortes de fontes, toutes deux aussi riches en phosphore, mais dont l'une est deux fois plus manganésifère que l'autre.

	Fonte manganésifère.	Fonte blanche d'affinage.
Silicium	0,11	0,03
Manganèse	3,84	1,68
Phosphore	3,29	3,12
Soufre	0,04	0,14
Carbone	2,68	1,64

Cette fonte est peu coûteuse à produire; la réduction est facile, elle ne demande que 915 à 938 kilogr. de coke et chaque fourneau fait de 111 à 120 tonnes par 24 heures. On l'obtient au prix étonnamment bas de 31 fr. 50, ce qui permet de la transporter fort loin.

8° **Fonte de moulage.** — Jusqu'à présent, les fonderies de l'Allemagne et spécialement celles de Prusse, ont été alimentées par les fontes de moulage d'Angleterre, Écosse et Cleveland. Actuellement, on cherche à produire en Prusse des fontes de moulage, mais cette qualité ne compte que pour 5 pour 100 dans la production totale du pays.

Des difficultés spéciales se présentaient; le prix d'abord. Voici en effet quels sont les frais de transport d'Angleterre et d'Oberhausen aux différentes places de consommation.

	D'Oberhausen.	D'Angleterre.
Berlin (par Stettin)	14,50	13,00
Dresde (par Hambourg)	18,60	18,70
Francfort-sur-l'Oder (par Stettin)	20,90	15,00
Mayence	8,60	14,90
Hambourg	10,50	8,70

Le prix normal de la fonte grise du Cleveland serait, d'après les renseignements officiels du *Board of Trade de Middlesborough* :

Minerai	20,80	
Coke	18,80	
Castine	3,12	
		42,72
Main-d'œuvre	5,30	
Fournitures	3,00	
Frais généraux	1,88	
		10,18
		52,90

D'après une enquête officielle faite avant les nouveaux tarifs de

douane adoptés en Allemagne, le prix ci-dessus peut se réduire d'environ 7 francs dans les moments de crise, grâce à quelques diminutions de frais et à des abaissements de transport consentis par les Compagnies de chemin de fer. Ce prix devient alors :

Minerai	15,70	
Coke	16,60	
Castine	3,12	
		35,42
Salaires	5,10	
Fournitures...... ..	3,00	
Frais généraux......	1,88	
		9,98
		45,40

Quant à la fonte d'Écosse n° 1, on ne l'a guère vue à Ruhrort au-dessous de 75 à 80 francs, tandis que la fonte grise du Cleveland a pu y être offerte au-dessous de 60 francs.

Si l'on cherche à établir, d'après les documents de l'enquête officielle de M. Wachler, le prix de revient d'une tonne de fonte de moulage à un haut fourneau du Rhin, en supposant l'emploi actuel d'un mélange de

Hématite rouge du Nassau...........	40
Hématite brune du Nassau	15
Minerai houillé grillé...............	20
Minerai de tourbières...	25
	100

Voici ce que l'on trouve :

	Distance.	Prix sur place.	Frais de transport.	Total.
Minerai..........	130^{km}	23^f,40	11^f,65	35^f,05
Castine..........	49	1, 62	3, 00	4, 62
Combustible......	29	13, 80	5, 90	19, 70
				59, 37

Salaires :	Haut fourneau........	5^f, 40	
	Carbonisation.........	1, 90	
Frais fixes :	Fournitures...........	1, 26	
	Entretien............	1, 30	
	Surveillance..........	0, 93	
	Frais généraux	1, 32	
			12, 11
		Total...	71, 48

Ce prix de 71 fr. 48 est celui que l'on indique, sans intérêts de capitaux ni amortissement; mais on y ajoute 7 fr. 70 par tonne pour frais de banque et intérêts d'obligations, ce qui nous semble considérable; on arrive ainsi à 79 fr. 18; ce prix s'abaisserait à 73 francs, si l'usine comportait deux hauts fourneaux au lieu d'un; on voit que si la lutte, avec un semblable prix, était possible contre les fontes d'Écosse, elle devenait difficile contre les fontes grises du Cleveland.

Il y avait de plus la *question de qualité*. Les fondeurs allemands habitués aux fontes anglaises ne reconnaissaient pas les mêmes avantages aux fontes indigènes que l'on présentait à leur consommation.

Pour élucider cette question, où quelque peu de routine pouvait bien être mêlée, il se fit un syndicat de six usines de la Ruhr, le *Phœnix*, *Gutehoffnungshütte*, l'*Union* de Dortmund, *Hœrde*, *Friedrichs-Wilhemshütte* de Mulheim-sur-Ruhr, et *Niederrheinische Hütte* de Hochfeld-Duisbourg.

Sous le contrôle du gouvernement, il fut fait une série d'essais comparatifs de fontes de moulage étrangères et indigènes. Ces essais eurent lieu, tant au point de vue chimique qu'à celui de la résistance et de l'état physique. Ils furent répétés sur de nombreux échantillons et pendant longtemps; et, d'après le rapport officiel [1], il fut prouvé :

1° Que les fontes de moulage des usines allemandes, dont les produits avaient été soumis à l'essai, n'étaient nullement inférieures aux fontes d'Écosse et étaient supérieures aux fontes du Cleveland.

2° Que les fontes d'Écosse renfermaient un peu plus de silicium et les fontes du Cleveland notablement plus de phosphore.

3° Que les fontes allemandes, à égalité de numéro, pouvaient souvent porter plus de bocages sans blanchir.

Avant de parler des hauts fourneaux allemands, nous donnerons quelques renseignements statistiques généraux, sur l'industrie de la fonte dans le Zollverein.

1. Vergleichende qualitäts Untersuchungen Rheinisch-Westfälischen und ausländischen Giesserei-Roheisens.
Auf anordnung des Königlich-Preussischen Handels ministerium aufgestellt von R. Wachler, Koniglicher-Hütten-Inspector zu Gleiwitz.

La *production de fonte* a été pour 1879 :

Fonte de moulage.	130 711[t]
Fonte Bessemer.	473 050
Fonte d'affinage	1.532 827
Moulages en 1[re] fusion.	22 597
Bocages.	9 009
Production.	2.168 194
Importation	397 598
Exportation	433 164

L'importation se compose de fontes de moulage, d'Écosse et de Cleveland, et de fontes Bessemer du Cumberland.

Quant à l'exportation, elle provient des fontes spéculaires de Siegen, et des fontes phosphoreuses du Luxembourg.

Si, maintenant, nous passons rapidement en revue chacun des districts métallurgiques du Zollverein, nos renseignements ne portent plus que sur l'année 1878.

Haute-Silésie. — L'industrie métallurgique de la Haute-Silésie est fondée sur son bassin houiller, qui s'étend jusqu'en Pologne et en Moravie ; les couches y ont une grande puissance, qui atteint souvent 3 et 4 mètres. Les minerais de fer sont rares dans ce district, les minerais houillers y sont pauvres et phosphoreux ; quelques hématites brunes sont assez pures pour produire de la fonte Bessemer, et on y adjoint des fers spathiques de Hongrie.

En 1878, on a consommé :

680 000 tonnes	minerais indigènes.
105 000	scories.
34 000	minerais étrangers.

qui ont produit :

4 990 tonnes	fonte au bois.
261 490	fonte au coke.
Total. . 266 480	

se répartissant en :

fonte de moulage	12 870 tonnes	ou 4,81 pour 100
fonte pour acier	23 400	8,75
fonte pour puddlage	229 964	85,97

Les prix de revient de la tonne peuvent être considérés comme étant :

fonte de moulage.	67 à 75 fr.
fonte pour acier	100
fonte pour puddlage.	50 à 67

Allemagne centrale. — Quelques lambeaux de bassins houillers, mais surtout la proximité de minerais abondants et de forêts importantes, ont amené, dans l'Allemagne centrale, une certaine fabrication de fonte. Elle correspond principalement aux mines de Zwickau, Unterwellenborn (Max hutte n° 2) et Ilsède; elle a produit 202,000 tonnes de fonte, aux prix de 79 francs pour la fonte Bessemer et 60 fr. seulement pour la fonte blanche lamelleuse. Quant à Ilsède, sa fonte phosphoreuse et manganésifère est une curiosité métallurgique; nous avons déjà dit qu'elle coûtait 31 fr. 50 à l'usine.

Westphalie et Rhin inférieur. — Ce district, dont nous avons déjà parlé, a produit en 1878

Avec 1 115 000	tonnes de minerais indigènes.	
236 000	id.	étrangers.
116 000	scories.	

653 000 *tonnes de fonte* se répartissant ainsi :

Moulage.	38 000 tonnes.
Fonte pour acier. . .	264 000
Affinage.	407 000

Les prix de revient de ces fontes sont fort variables; cependant, d'après M. Wedding, on pourrait fixer les chiffres suivants :

Fonte d'affinage ordinaire.	56 fr.
id. supérieure	75
Fonte de moulage.	72 à 80.
id. Bessemer	75 à 87.

Pays de Siegen, de la Lahn et du Rhin moyen. — La production de la fonte se répartit ainsi, dans cette partie de l'Allemagne.

DÉSIGNATION.	FONTE DE MOULAGE.	FONTE A ACIER.	FONTE D'AFFINAGE.	TOTAL.
SIEGEN........	1.300t	28.500t	131.200t	161.000t
LAHN..........	5.600	»	14.200	19.800
RHIN MOYEN ...	4.500	120.100	65.100	219.700
Total......	11.400	148.600	240.500	400.500

Haut Palatinat et Würtemberg. — L'industrie au charbon de bois étant de plus en plus en décadence, pour céder la place à l'importation de la fonte au coke, cette région produit peu.

Bavière........	26 500 tonnes.
Würtemberg......	11 300
	37 800

District de la Sarre. — Nous donnerons peu de détails sur le bassin de Sarrebruck, qui est généralement assez connu en France.

Le terrain houiller de cette région renferme 90 couches exploitables représentant une épaisseur totale de 30 mètres de charbon, dont la production a été en 1878,

Bassin proprement dit de Sarrebruck. . .	4 444 000 tonnes.
Bavière Rhénane	137 000
Lorraine	408 000

La production de la fonte, obtenue avec les minerais houillers du pays, et les minerais tertiaires du Luxembourg, a été de 112,000 tonnes de fonte d'affinage phosphoreuse coûtant en moyenne 47 à 48 francs la tonne.

Lorraine et Luxembourg. — Nous ne dirons rien des conditions naturelles de ces deux régions, dont la première faisait si récemment encore partie de la France.

Le prix moyen de la fonte y peut être considéré comme étant de 44 francs.

Quant à la production de la fonte, elle a été de 488,000 tonnes.

District d'Aix la Chapelle. — Les deux petits bassins houillers des environs d'Aix la Chapelle, dont la production est de 1,079,000 tonnes, et les mines d'hématite brune et rouge de l'Eifel, ont amené, dans cette région, une certaine activité industrielle qui se traduit par une production de :

Fonte au bois.	1 500 tonnes.
Fonte au coke.	13 000

CHAPITRE VII.

HAUTS FOURNEAUX.

Ce qu'il y a de bon et de remarquable dans les fourneaux de la Ruhr, est une imitation plus ou moins directe des perfectionnements apportés en Angleterre.

Les hauts fourneaux, en Allemagne, ne dépassent guère les dimensions suivantes :

Largeur de creuset.	2^m à 2^m 50.
Diamètre au ventre, ...	6 à 7
id. au gueulard.	5
Hauteur totale.	20
Capacité.	400^m cubes.

On arrive ainsi à de grandes productions dépassant quelquefois 100 tonnes par 24 heures, comme à Ilsède. Le nombre des tuyères est, dans ce cas, porté jusqu'à 7. On emploie assez la tuyère Lürmann, qui supprime l'avant-creuset et le travail des fondeurs, et permet l'écoulement du laitier d'une manière continue.

On emploie beaucoup l'*appareil Whitwell*, à raison de 4 par haut fourneau et avec une hauteur de 13 mètres.

On voyait, à l'Exposition de Düsseldorf, de prétendus perfectionnements de ce mode de chauffage, notamment celui de M. Gœdecke

qui se trouvait dans le pavillon Otto. Comparativement aux anciens modèles, l'augmentation de surface de chauffe serait de 50 pour 100 pour un même volume ; un appareil de 12^m 80 de hauteur renfermerait 2.100 mètres carrés. La modification consiste à faire faire aux gaz trois serpentages seulement, mais dans une série de canaux parallèles et communiquant par en haut et par en bas. C'est comme s'il n'y avait que trois tuyaux dans lesquels on aurait introduit plusieurs cloisons n'allant pas jusqu'aux extrémités.

Les *tuyères en bronze* sont assez usitées ; elles empêchent par leur défaut d'affinité pour la fonte et le laitier, les attachements, qui sont si préjudiciables à une bonne marche. Les modèles exposés ne paraissaient pas tous également heureux ; quelques-uns avaient une complication d'emboîtage par vis qui semblait un peu grande ; d'autres, présentaient une épaisseur de métal trop forte.

On voyait aussi des modèles de *tuyères ouvertes en tôle de fer* ; l'eau est injectée contre la paroi intérieure et s'écoule après avoir opéré son action réfrigérante ; mais cet écoulement semble avoir lieu sans direction, par ruissellement sur la partie horizontale de l'embrasure, ce qui est un inconvénient facile à combattre.

Pour les *matériaux réfractaires* ce pays semble n'avoir rien à envier aux autres. Il existe, notamment à Duisbourg, aux usines Vygen, d'excellents produits.

Au haut fourneau n° 1 des usines royales de Wasseralfingen, en Würtemberg, on a constaté que la chemise réfractaire, après 14 ans et trois quarts de marche, était en état de continuer encore une campagne assez longue.

Le même fabricant a fourni, à l'usine d'Aplerbecke, près de Hœrde, des briques d'étalages, dont la longueur après 160 semaines de marche serait passée de 366 $^m/_m$ à 356, ce qui fait une usure d'un centimètre seulement.

Ces généralités, une fois posées, nous allons passer en revue les différentes usines allemandes au point de vue des hauts fourneaux.

Hauts fourneaux Krupp. — Nous ne pouvons donner que peu de détails sur les 14 hauts fourneaux qui alimentent l'aciérie d'Essen.

Les trois usines de Mühlofen, d'Hermannshütte près de Neuwied et de Johanneshütte à Duisbourg, renferment 10 hauts fourneaux

de construction nouvelle pouvant fournir 600 tonnes de fonte par 24 heures.

Gutehoffnungshütte. — A Oberhausen se trouvent 10 hauts fourneaux de grande dimension, dont la production annuelle a été de 170,000 tonnes de fonte en 1878-79, dont 20,500 tonnes de spiegel et de ferromanganèse et 13,000 tonnes de fonte de moulage.

La fonte de moulage de Gutehoffnungshütte peut être considérée comme ayant la composition suivante :

Silicium	2,45
Phosphore	0,97
Soufre	0,01
Graphite	3,28
Carbone combiné	0,26
Cuivre	0,06
Manganèse	0,18
Fer	92,40

La *fonte blanche d'affinage* renferme :

	Supérieur.	Ordinaire.
Carbone combiné	2,6 à 3	2 à 2,5
Silicium	0,2 à 0,3	0,2 à 0,3
Phosphore	0,6 à 0,8	0,6 à 0,8
Soufre	0,06 à 0,1	0,03
Cuivre	0,03	0,03
Manganèse	0,6 à 3	1,5 à 2

Spiegeleisen.

Carbone combiné	4 à 5
Silicium	0,2 à 0,6
Phosphore	0,1 à 0,15
Cuivre	0,15 à 0,20
Manganèse	7 à 25

Quant au ferromanganèse, la teneur fabriquée varie de 25 à 75 pour 100 et s'exporte, ainsi que celui des autres usines allemandes, en Russie, en Angleterre et en Amérique. L'usine produit aussi des *fontes Bessemer.*

Carbone combiné	0,3 à 0,6
Graphite	3 à 3,5
Silicium	2 à 2,5
Phosphore	0,08 à 0,10
Cuivre	0 05 à 0,10
Manganèse	3 à 3,5

Hauts fourneaux du Phœnix. — La Société anonyme des mines et usines du Phœnix à Laar, près Ruhrort, possède :

1° A **Laar** 4 hauts fourneaux, dont un pour ferromanganèse. Les appareils de chauffage sont du système ancien à tuyaux de fonte.

Jusqu'en 1873, on ne produisait que de la fonte d'affinage; avec des minerais d'Espagne, d'Algérie et de l'île d'Elbe, on commença à cette époque la fabrication des fontes Bessemer.

On essaya de produire au haut fourneau du ferromanganèse le 23 avril 1877, et on arriva facilement à une teneur de 46 pour 100 qui fut plus tard portée jusqu'à 80 pour 100.

Voici quelle a été la production du ferromanganèse :

Du 23 avril	1877	au 13 mai	1877	488	tonnes.
Du 1er juillet	1877	au 1er juillet	1878	2 011	»
Du 1er »	1878	»	1879	3 768	»
Du 1er »	1879	»	1880	3 903	»

C'est la première usine allemande qui ait mis en marche cette fabrication.

2° A **Berge-Borbeck**, près d'Essen, 4 hauts fourneaux produisent uniquement de la fonte d'affinage.

3° A **Kupferdreh** sur la Ruhr, près de Steele, sont également 2 hauts fourneaux pour fonte de moulage.

La production de fonte de la Compagnie du Phœnix, n'était que de 30,000 tonnes en 1854-55, atteignait 100,000 tonnes en 1877-78 et est maintenant de 96,684 tonnes, ainsi répartie :

Laar près Ruhrort	38 839	tonnes.
Borge-Borbeck.	4059 6	»
Kupferdreh	17 249	»

Hauts fourneaux de l'Union de Dortmund. — L'Union est une agglomération de plusieurs usines, dont la principale est à Dortmund et renferme 3 hauts fourneaux modernes avec 4 appareils Whitwell de grande dimension.

Il y a aussi à Henrichshütte, près de Hattingen, 4 hauts fourneaux d'un type plus ancien avec chauffes à tuyaux de fonte.

A Horst, près de Steele, se trouvent aussi 2 hauts fourneaux, sans

en compter 8 autres à Hasslingshausen et Othfresen, la plupart éteints actuellement.

La production totale de fonte a été, pour la Compagnie l'Union, en 1879, de 77,512 tonnes de fonte, tant pour le Bessemer que pour l'affinage et le moulage.

Les mines et usines de cette compagnie importante sont desservies par 32 kilomètres de chemin de fer à voie normale avec 9 grandes locomotives, et 108 kilomètres à voie étroite avec 12 petites locomotives.

La Compagnie de **Schalke**, près de Gelsenkirchen, possède 2 hauts fourneaux de construction moderne d'une capacité intérieure de 400 mètres cubes et desservis par deux batteries de 4 appareils Whitwell. L'un de ces fourneaux produit par semaine de 550 à 600 tonnes de fonte Bessemer. Il traite un mélange de 60 pour 100 de minerais indigènes, et de 40 pour 100 de minerais de Nassau choisis, et minerais spathiques de Siegen.

Cette usine produit aussi de la fonte d'affinage pour fils de fer, tôles minces et feuillards ; une grande partie de cette fonte est exportée en Belgique et en France.

La Compagnie de **Hœrde** possède, à Hœrde même, 8 hauts fourneaux dont les derniers construits sont munis d'appareils Whitwell.

Il n'y a généralement que 6 hauts fourneaux en marche, leur production annuelle est de 78,000 tonnes et se compose de :

Fonte blanche rayonnante,
Fonte de moulage,
Fonte Bessemer,
Spiegeleisen et ferromanganèse.

Enfin, pour la déphosphoration, la fonte Thomas, que l'on cherche à réaliser, a la composition suivante :

Silicium	0,06
Manganèse	1,44
Soufre	0,08
Phosphore	1,60

On l'obtient surtout en seconde fusion, par un mélange de fonte phosphoreuse blanche et grise de Hœrde, de fonte blanche du Luxembourg et de Wendel. L'éloignement des hauts fourneaux (1 kilomètre environ) ne permet pas la prise directe, surtout pour une fonte blanche.

La **Niederrheinische-Hütte** près de Duisbourg, possède au bord du Rhin, 4 hauts fourneaux, qui sont placés pour recevoir les minerais du Nassau aussi bien que les minerais d'outre-mer. Le déchargement se fait à quai, au moyen de grues.

Deux de ces fourneaux produisent 50 tonnes chacun par jour; les deux autres n'ont qu'une capacité de 35 tonnes.

Le chauffage du vent se fait avec des appareils en fonte.

Le produit obtenu est presque uniquement de la fonte de moulage.

Friedrich Wilhelms-Hütte est exclusivement une usine à fonte de moulage, située à Mülheim sur Ruhr.

L'usine se compose d'un haut fourneau, ancien modèle, avec appareils à air chaud en fonte et de deux fourneaux neufs, avec 8 appareils Whitwell.

Les dimensions de ces fourneaux sont :

Hauteur	20^m
Diamètre du creuset	2^m,40
— au ventre	6^m,20
— au gueulard	4^m,80

il y a 7 tuyères et la production est de 57 tonnes de fonte de moulage pour une capacité de 375 mètres cubes.

Les appareils Whitwell ont 6^m,70 de diamètre extérieur et 8^m,60 de hauteur; ils ont une surface de chauffe de 900 mètres et le vent y dépasse de beaucoup la température de 500° centigrades.

Le produit obtenu est de la fonte de moulage qui donne à l'analyse :

Fonte n° 1

Graphite	3,33
Carbone combiné	0,42
Silicium	2,01
Phosphore	0,85
Soufre	0,018
Cuivre	traces.
Manganèse	0,99
Fer	91,50

Cette fonte est notablement moins phosphoreuse que celle de Clarence, qui renferme 1,69 à 1,80 pour 100 de phosphore; elle est comparable à la fonte d'Écosse n° 1.

Le n° 3 de cette fonte est encore assez carburé pour être employé en fonderie avec mélange de bocages.

L'installation de Friedrich Wilhelms-hütte peut être considérée comme un type des modèles allemands les plus récents.

Germaniahütte, près de Grevenbrück, produit du spiegeleisen à 11 pour 100 de manganèse.

Voici l'analyse de la fonte à 4 ou 5 pour 100 de manganèse.

Carbone total	3 à 4
Silicium	1,7 à 2,5
Manganèse	4 à 5
Phosphore	0,05 à 0,11
Cuivre	0,12 à 0,18
Soufre	0,008 à 0,020

Buderus frères, de Lollar, dans le district de Wetzlar, exposent des fontes de Nassau pour moulages ; elles ne blanchiraient pas facilement après plusieurs fusions successives et supporteraient de fortes additions de bocages.

La production est de 60 à 70,000 tonnes.

Exposition collective de Siegen. — On y voyait de fort beaux échantillons des divers minerais de ce pays ; nous les avons passés en revue déjà.

Le groupe de Siegen se compose de 34 hauts fourneaux au coke et de 2 au charbon de bois.

Leur produit ne se compose pas uniquement de spiegel ; ils font aussi des fontes d'affinage, des fontes Bessemer et de moulage, formant un total de 160 à 180,000 tonnes d'une valeur moyenne de 100 francs à l'usine.

Ces diverses qualités se répartissent ainsi :

Fonte d'affinage	62 pour 100.
Spiegeleisen	30 —
Fonte Bessemer	5 —
Fonte de moulage	3 —

Nous passerons en revue les principaux établissements renfermant des hauts fourneaux.

Les **Usines Geisweider** possèdent un seul fourneau produisant 21,000 tonnes de fontes manganésifères ; spiegel à 10 pour 100, fonte Bessemer à 4 et 5 pour 100 de manganèse et fontes supérieures pour affinage en ayant de 3,5 à 6 pour 100 de manganèse.

La **Compagnie Coln-Müsen**, de Creuzthal, possède 2 hauts fourneaux au coke et 2 au charbon de bois.

Aplerbecker-Hütte, a 3 hauts fourneaux, et *Friedrichs-Hütte*, de Herdorf, 1 seulement.

Wissener-Hütte, a 2 hauts fourneaux, dont les produits exposés ont la composition suivante :

DÉSIGNATION.	SPIEGEL.		FONTE BESSEMER.	FONTE D'AFFINAGE.		
	A	B		Très rayonnée.	Lamell.	Mate.
Manganèse....	11,12	14,11	5,50	7,12	5,76	1,84
Phosphore....	0,06	0,08	0,09	0,10	0,32	0,45
Cuivre.......	0,25	0,17	0,29	0,23	0,18	0,08
Silicium......	0,25	0,30	2,85	—	—	—
Soufre.......	0,03	0,01	0,01	—	—	—
Carbone......	4,10	4,40	4,01	—	—	—

Heinrichshütte, avec 2 hauts fourneaux, a produit en 1879, 37,000 tonnes de spiegel n° 1, 2,700 tonnes de spiegel à basse teneur et 2,000 tonnes d'autres fontes.

Charlottenhütte fabrique, avec 2 hauts fourneaux, du spiegel ayant la composition suivante :

Carbone.........................	4,011
Silicium.........................	0,272
Phosphore.......................	0,082
Soufre...........................	0,031
Manganèse.......................	12,00
Cuivre...........................	0,24

Nous terminerons enfin cette nomenclature, forcément un peu sèche, en disant que **Rolandshütte**, avec 2 hauts fourneaux, produit annuellement 44,000 tonnes de spiegel et de fonte d'affinage.

CHAPITRE VIII.

ÉLABORATION DE LA FONTE.

FONDERIE.

Les vallées de la Dill et de la Lahn renferment 12 fonderies, produisant annuellement 55,000 tonnes de moulage. Les fontes du pays, obtenues avec un mélange d'hématites brunes et rouges, sont de qualité supérieure et communiquent une grande résistance aux pièces moulées.

La Lahn supérieure, avec 6 hauts fourneaux, produit encore 48,000 tonnes de moulages pour machines, objets de vaisselle, etc.

Enfin, le pays de Siegen proprement dit, possède 11 fonderies produisant journellement 5 à 6,000 tonnes de moulages divers.

Les pièces trempées sont une spécialité de cette région; nous citerons, notamment, les établissements de *Fölzer*, *Gontermann et Hermann Irle*.

Si nous descendons le Rhin, et que nous pénétrions dans le bassin de la Ruhr, nous rencontrons l'industrie du moulage concentrée dans plusieurs établissements très importants. La qualité est plus commune et se rapproche de ce que peuvent donner les fontes d'Écosse.

Friedrichs-Wilhelmshütte, à Mülheim-sur-Ruhr, et, dont nous avons décrit déjà les hauts fourneaux nouvellement installés, s'est fait une spécialité de la fabrication des tuyaux. La production est de 40,000 tonnes par an, les diamètres variant depuis 20 centim. jusqu'à 1^m,20 et la longueur pouvant atteindre 4 mètres.

La coulée se fait verticalement et en seconde fusion, la planche 11 montre les diverses parties de l'usine.

Six fosses de coulées sont élevées au-dessus du sol, les moules des tuyaux reposant verticalement par des oreilles, entre des poutres en fer, trois cubilots sont à une extrémité. Dans une halle contiguë sont les tours à noyaux; l'ébarbage au tour, l'essai à la presse ont lieu dans deux autres halles.

Les tuyaux sont coulés la bride d'assemblage en haut. A la partie inférieure circule un chariot renfermant un poêle destiné au séchage des moules sur place.

D'autres établissements du Rhin se livrent également au moulage. Nous citerons, notamment :

Gutehoffnungshütte, dans l'usine de Sterkrade et la *Niederrheinische-Hütte.*

Enfin, nous ne pouvons passer sous silence la fabrication de la FONTE MALLÉABLE, qui était représentée par les expositions très intéressantes de *A. Tellering* et *Köttgen*, de Bergisch-Gladbach, et *Klappmann* à Annen. On voyait beaucoup de pièces de serrurerie pour le bâtiment, etc.

CHAPITRE IX.

FER

Le fer n'occupait qu'une place secondaire dans l'exposition de ce district si célèbre par ses aciers.

Depuis que la conduite des hauts fourneaux est entre des mains plus expérimentées et plus instruites, on est davantage maître de produire la qualité de fonte que l'on désire. Il n'a plus été aussi indispensable d'enlever l'excès de silicium dans une opération spéciale, c'est la première cause de la disparition du *mazéage*. Un autre motif, c'est le puddlage sur sole basique en riblons brûlés, qui a permis d'affiner directement des fontes blanches.

En Westphalie, on puddle encore pour grain ou pour nerf, mais *on ne fait plus guère d'acier puddlé.*

L'acier puddlé doit être considéré comme remplacé par le *métal fondu doux* (*flusseissen* des Allemands, *ingot iron* des Anglais et des Américains). Il ne faut pas s'étonner, par suite, si le puddlage a fait peu de progrès.

C'est une opération qui se trouve déclassée, au milieu de ces affi-

nages rapides qui opèrent sur quatre fois plus de tonnes que le four à puddler ne traitait de centaines de kilogrammes. *Elle n'a qu'un progrès à réaliser*, puisqu'elle n'a pu, jusqu'ici se faire mécaniquement d'une manière pratique, *c'est de disparaître.*

Dans un pays, comme la Westphalie et les provinces Rhénanes, où le manganèse se rencontre un peu dans toutes les fontes, en quantité souvent considérable, on s'est vite rendu compte de l'influence de cet élément dans le puddlage. On a reconnu, depuis longtemps, que le manganèse prolongeait l'affinage et communiquait de la fluidité à la scorie. On y a reconnu aussi, comme en Belgique, que la présence du manganèse facilitait l'élimination du phosphore.

Nous trouvons dans l'exposition de la Compagnie du Phœnix, des essais de puddlage pour fer supérieur à grain fin, par addition de ferro-manganèse à une fonte très phosphoreuse (1,6 pour 100 de phosphore).

Voici le résultat de ces essais :

Fonte à 1,6 pour 100 de phosphore puddlée.

DÉSIGNATION.	SEULE.	AVEC 1 % de ferromanganèse à 67 %.	AVEC 2 % Id.	AVEC 3 % Id.	AVEC 4 % Id.
Résistance à la traction.	kil. 36,7	40,7	42,2	42,6	44,8
Allongement p. 100	9,5	17	18	25	27
Contraction p. 100.	23,2	28,3	30,4	38,3	43,6
Grain de la cassure au marteau avec entaille.	Grossier et plat.	Mélangé.	Moyen.	Fin.	Fin.

Nous disions qu'on ne faisait plus guère d'acier puddlé, nous en trouvons des échantillons dans la vitrine centrale de l'Exposition Krupp. C'est sans doute un hommage à la mémoire de ce produit qui a été, à l'état naturel et surtout à l'état fondu, l'origine de la prospérité de cette maison.

Cet acier puddlé est très carburé et présente un fort beau grain. En voici l'analyse, à l'état brut et après soudage par paquet :

	Brut.	Paqueté.
Carbone................	1,2	0,95
Silicium................	0,02	0,07

Manganèse	0,15	0,12
Phosphore	traces.	0,01
Soufre	0,02	
Cuivre	0,12	

Terminons ce que nous avons à dire sur les objets en fer exposés par la maison *Krupp* en citant de fort beaux échantillons de forgeage Haswell, sous une pression hydraulique de 750 tonnes; ce sont des croisillons pour freins hydrauliques d'affûts de canons, des boîtes à graisse et une manivelle pour locomotive. Nous voyons aussi une ancre de 2,500 kilogrammes, une rondelle de tôle pour fond de chaudière de 2,890 millim. de diamètre et de 16 millim. d'épaisseur; poids 860 kilogrammes.

La Compagnie du *Phœnix* nous montre quelques échantillons d'acier puddlé avec mélange de ferromanganèse; la résistance à la traction est, pour ce produit, de 62 kilogrammes par millimètre carré, avec 17,5 pour 100 d'allongement et 29,5 pour 100 de contraction.

Les fers puddlés avec mélange de ferromanganèse ou de spiegel servent à la fabrication des chaînes.

Le laminage des tôles de fer est représenté pour cette usine, par une feuille de 2^m,650 de large, 7 mètres de long et 17 millim. d'épaisseur. L'ensemble de cette exposition est, d'ailleurs, très remarquable comme spécimens de laminage de fers profilés, traverses métalliques, etc.

Gutehoffnungshütte expose des chaînes de 10 à 60 millim. de diamètre de fer. Cette fabrication est la spécialité de l'établissement de Sterkrade. Voici la résistance à la traction des différents modèles :

Chaîne de 10 millim.	$5,380^{kg}$
— 20 —	21,250
— 30 —	41,650
— 39 —	67,900
— 48 —	103,450

Le même établissement montre des ancres de 4,135 et 4,870 kilogrammes d'un travail très remarquable, un arbre à deux manivelles du poids de 10,120 kilogrammes pour le Lloyd allemand, et quantité d'autres pièces de forge.

Comme laminage, nous voyons de très beaux simples et doubles T, des cornières, etc.

L'**Union de Dortmund** expose une série très remarquable de fers spéciaux :

Un fer à double T de 500 — 176 — 18 et de 12 mètres de longueur.

D'autres fers à T de 20 mètres de longueur et de hauteur variant de 400 à 100 millim., des fers en U, des cornières simples et doubles (fers en Z) et des fers à simple T donnaient une haute idée de la fabrication de ce groupe d'usines.

Nous ne pouvons passer en revue toutes les usines qui ont exposé du fer. Il nous suffira de dire que, dans ce pays, on obtient des qualités remarquables dues à la présence du manganèse dans les fontes d'affinage; le phosphore, souvent en grande quantité, disparaît presque complètement. Nous citerons, les tôles supérieures qui semblent s'obtenir avec une grande qualité et une facilité non moins grande. Les dédoublements et les *gonfles*, qui sont le grand obstacle à la production des tôles de fer supérieur, semblent évités en grande partie par le manganèse. L'oxyde de carbone, qui produit incontestablement ces gonfles, est le résultat de l'action du carbone restant encore dans le fer sur la scorie peroxydée qui est interposée. En présence du manganèse, la scorie de puddlage reste davantage à l'état de protoxyde et se trouverait ainsi moins propre à agir sur le carbone et à produire des dégagements gazeux.

CHAPITRE X.

VOIES ENTIÈREMENT MÉTALLIQUES.

Il est impossible de terminer ce qui est relatif au fer sans parler des efforts faits en Allemagne, depuis déjà de nombreuses années, pour la suppression complète des traverses en bois. Il y a là une tendance au progrès, qu'il est bon de rappeler à nos ingénieurs de chemins de fer.

M. Grüttefien, attaché au ministère des travaux publics de Berlin, a

donné au meeting de Düsseldorf, des explications fort intéressantes sur cette question.

L'Allemagne, disons-le d'abord, n'est pas forcée pour ses chemins de fer d'importer des traverses; elle suffit à sa propre consommation. C'est la crainte du renchérissement du bois dans l'avenir, qui a conduit Hartwich en 1865 et, plus tard, M. Hilf, à étudier l'emploi exclusif du fer. La Prusse a, maintenant, une expérience de 12 années des voies entièrement métalliques ; et, sans abandonner complètement le bois, elle fait de notables progrès dans l'emploi du fer.

La voie *Hartwich* manquait de base, malgré la grande surface de son patin ; les enfoncements étaient fréquents et nécessitaient de nombreux relèvements; le frottement entre le patin du rail et le ballast était insuffisant pour assurer la voie contre le déplacement horizontal. On a donc abandonné ce système pour les grandes lignes fatiguées par un trafic important; mais il semblerait que pour les chemins de fer d'intérêt local, ce mode de pose eût des chances de revivre.

Il n'y a guère en Prusse, sur les chemins de fer appartenant à l'État, que deux types de voie métallique :

1° La voie sur *longrines métalliques* (1542 kilomètres actuellement en exploitation).

2° La voie sur *traverses métalliques* (528 kilomètres actuellement en exploitation.)

C'est donc 11 pour 100 du réseau de l'État.

Les 1542 kilomètres de voie sur longrines métalliques se décomposent ainsi :

1360 k^m du système Hilf.

180 k^m du système Rhénan et 2 k^m du système Haarman.

La *voie Hilf*, avec son rail de 24 à 25 kilogr. reposant sur la grande base d'un fer en E, assez difficile à laminer, est trop connue des spécialistes pour qu'il soit nécessaire d'y insister. Nous laisserons à d'autres le soin d'expliquer les modifications apportées par l'expérience, pour fortifier l'éclissage des rails et les joints des longrines, l'adoption de traverses supplémentaires et leur inconvénient au point de vue de l'égale répartition des efforts. Nous dirons seulement que, là où le ballast est très fin, l'entretien de la voie devient très onéreux en main-d'œuvre de relevage, et la longrine Hilf est alors plus coûteuse que les traverses en bois.

La *voie Rhénane* se compose d'une longrine analogue à la traverse Vautherin ; la surface horizontale de cette gouttière renversée a 220 millimètres de largeur et les deux ailes ont une inclinaison de 30° avec la verticale ; elles sont de plus, à leurs extrémités, recourbées en dehors sur une largeur de 17 millimètres. Cette longrine pèse 23 kilogrammes le mètre courant et a une longueur de $8^{m},90$. Elle porte un rail de 29 kilog., de 9 mètres de long et de 130 millimètres de hauteur. Le perçage de la longrine varie, suivant le rayon des courbes, pour assurer une bonne attache du rail et une position immuable de la voie. Il n'y a pas de tirants transversaux; aussi, la pose et la dépose sont-elles faciles. En général, la voie se pose pendant le terrassement et sert au ballastage.

L'inertie de ces longrines est bonne et le déplacement horizontal, empêché par le frottement suffisant contre le ballast. Mais le patin du rail s'imprime dans la longrine, parce que la pression par unité de surface est, sans doute, trop élevée et que la composante oblique de l'effort du train se porte sur l'extrémité extérieure du patin.

La voie *Haarman* est moins connue et nous en donnerons le dessin (Pl. 11). On voit qu'elle se compose d'une cuve renversée à bords relevés horizontalement, servant de longrine. L'attache se fait en saisissant par des crampons la surface supérieure du patin et s'appuyant sur l'angle inférieur de la cuve ; un boulon termine cet assemblage qui se répète tous les $1^{m},50$ environ. La longueur du rail est de 9 mètres et celle de la longrine de $8^{m},991$. L'assemblage des rails, comme celui des longrines , a lieu par éclissage. Enfin , des cornières servent, comme tirants transversaux, à empêcher l'écartement de la voie.

L'expérience de la voie Haarman est encore faible ; aux 2 kilomètres, posés en 1878, sur les chemins de fer hanovriens, il faut ajouter, 10 1/2 kilomètres en Hollande, 15 en Russie; sans compter 120 kil. commandés pour l'État prussien. Jusqu'à présent, cette voie se comporte d'une manière supérieure aux autres systèmes, et c'est un fait que je signale aux ingénieurs de chemins de fer français.

Il me reste à parler des *voies sur traverses métalliques*. En Prusse, voici quelle a été l'expérience pour la voie *Vautherin*, que nous connaissons tous; la traverse se compose d'une cuve renversée, dont le fond horizontal sert d'appui au patin du rail, tandis que les côtés, s'inclinant à 45° de la verticale, se recourbent à plat en dehors : pendant les trois premières années, tout va très bien, mais dans le courant

de la quatrième année, la voie s'élargit, par suite du glissement latéral du rail ; il se fait alors des fentes longitudinales et transversales.

Le chemin de fer Bergisch-Markisch a repris la question des traverses métalliques, en portant à 57 kg le poids de la traverse Vautherin. Il a modifié également l'attache, qui est toujours le point faible de ces genres d'assemblages de fer sur fer. Les résultats obtenus sont assez bons, paraît-il.

Le gouvernement prussien a essayé la traverse métallique ayant une forme en C analogue à la longrine Hilf, mais n'ayant pas la nervure centrale. Cette forme en gouttière polygonale renversée, permet la pénétration dans le ballast, sous la pression du train se répartissant sur les deux arêtes tranchantes. La traverse Hilf se comporte beaucoup mieux que la traverse Vautherin. Le chemin de fer Bergisch-Markisch vient de l'introduire sur son réseau en employant un profil du poids de 44,5 seulement au lieu de 57 k. 5. L'épaisseur de la partie horizontale a pu être portée de 13 millimètres à 9 en employant l'acier doux, et faisant venir un renfort au milieu en dessous.

Nous ne déduirons de toutes ces expériences que les conséquences tirées par le ministère des travaux publics de Berlin. La voie entièrement métallique n'a guère d'avantages dans la première année qui suit la pose, sur le système à traverses en bois ; car il faut amener une solide assise de la voie par la consolidation du ballast dans l'intérieur de la longrine ou de la traverse, et cela demande un certain entretien. Mais, dans les années suivantes, la voie métallique reprend l'avantage d'une manière incontestable. Nous terminerons cette digression, inspirée par le désir de voir se créer dans notre pays un nouveau débouché pour la métallurgie, par ces paroles de M. Grüttefien :

« *J'exprime le profond désir que les excellentes qualités de la voie*
« *entièrement métallique qui, malheureusement, sont si profondément*
« *méconnues de nos collègues français, que tout système de ce genre*
« *est considéré par eux comme absolument mauvais, reçoivent une*
« *meilleure appréciation en Angleterre.* »

Pour compléter ce qu'il y a de trop succinct dans cet exposé de la question des traverses métalliques, nous renverrons au travail de M. Grüttefien, que l'on peut trouver à la bibliothèque de la Société des Ingénieurs civils, et qui est écrit en anglais et en allemand. Il porte le

titre suivant : « *On the results obtained with various systems of Iron permanent way on the Prussian state Railways and on those private lines managed by the Prussian government.* »

CHAPITRE XI.

ACIER

L'acier est dignement représenté à l'Exposition de Düsseldorf et cela, sous toutes ses formes.

La région de la Ruhr, nous a habitués depuis longtemps, à connaître la qualité toute spéciale de ses aciers.

Les monstrueux lingots sans soufflures de la maison Krupp, les moulages d'acier de Bochum, ont maintenant une réputation qui n'est plus limitée au cercle étroit des métallurgistes.

Le bon marché du combustible, et la qualité spéciale des cokes, avaient développé la fabrication de l'acier au creuset. Actuellement, cette industrie, sauf des emplois spéciaux, est réservée à la production de la matière première des canons. Pour les emplois plus communs, le Bessemer, les fours Martin-Siemens se développent et donnent de fort beaux produits. Il restera toujours, pour la question de prix, les difficultés naturelles d'une certaine pauvreté en minerais riches et purs et d'une situation assez éloignée de la mer, pour les arrivages et l'exportation.

L'exposition **Krupp** était, comme toujours, fort remarquable. Elle était disposée dans un pavillon spécial et on y donnait un livret présentant quelques innovations à signaler.

Autrefois, on ne vendait dans cette maison que de l'*acier fondu au creuset* (*Gusstahl*) et l'on semblait tenir en profond mépris tous les produits concurrents, qui n'avaient pas cette origine. Il était cependant connu de tous, qu'il y avait là 15 à 18 convertisseurs et un certain nombre de fours Martin-Siemens. En se promenant sur la chaussée

de Limbeck, qui coupe l'usine en deux parties presque égales et sépare les deux ateliers Bessemer, on peut en effet voir de chaque côté la fumée des opérations.

Cette fois, la lumière commence à se faire sur cet atelier, qui s'est toujours entouré de mystère. Dans la désignation des pièces exposées et qui sont en acier, celles-ci sont indiquées comme étant faites, les unes au creuset (*Tiegelstahl*), les autres au four Martin (*Martinstahl*) ou au Bessemer (*Bessemerstahl*).

On se rappelle les petits livrets ornés d'un panorama photographique, où l'on ne voyait guère que des cheminées, et qui donnaient la sèche nomenclature des pilons, des outils des ateliers d'ajustage et des chevaux de force employés.

A Düsseldorf, on nous donne un peu plus. Il y a d'abord une vue de l'usine à vol d'oiseau ; c'est la photographie de l'immense aquarelle qui décorait la face principale de l'intérieur du pavillon. Mais l'échelle est si petite et on a mis tant de fumée, qu'on ne voit plus rien du tout et cependant, il est écrit en bas que la reproduction en est interdite, on se demande : pourquoi ?

Le livret passe en revue les différents objets exposés, en indiquant l'origine du métal employé. Puis vient une partie statistique, dont nous allons donner une idée.

Après avoir établi que l'usine, fondée en 1810, n'occupait, en 1848, que 74 ouvriers, tandis qu'elle en a actuellement :

A l'aciérie.	8,679
Aux hauts fourneaux	1,000
Aux mines	6,103
Total.	15,782

On donne l'énumération des ateliers, dont se compose l'usine d'Essen :

Aciérie au creuset.
Puddlage.
Atelier Bessemer.
Aciérie Martin.
Forge au pilon.
Laminage des rails.
Laminage des bandages.

Laminoir à tôle de fer ou d'acier, pouvant faire jusqu'à $2^m,80$ de large.

Fonderie de fonte, pour pièces de machine et projectiles — 8 cubilots.

Forgeage au bas foyer.

Forgeage des roues de wagons et de locomotives.

Chaudronnerie et construction de ponts.

Laminage et finissage des ressorts.

Ateliers d'ajustage.

Montage et ajustage des canons.

Tournage des essieux.

Suit le nombre des *divers fours*, des *chaudières à vapeur* et comme dans les autres expositions.

Nous compléterons ces renseignements en donnant le plan de l'établissement d'Essen, avec la position relative des différents ateliers et leur destination respective. Il est inutile d'ajouter, que ces documents ne proviennent, ni du personnel ni de l'administration de l'usine (Pl. 12).

La consommation journalière de *charbon et de coke* (y compris, sans doute, les hauts fourneaux) est de 2680 tonnes, auxquelles il faut ajouter 13000 mètres cubes *d'eau* et 17300 mètres cubes de *gaz*, quoique 5 ateliers soient éclairés à la lumière électrique.

La voie normale desservant l'usine est de 41 kilomètres, avec 14 locomotives-tenders et 537 wagons.

La voie étroite est de 22 kilomètres et demi avec 9 petites locomotives et 230 wagons.

Il y a, de plus, 50 chevaux traînant 206 wagons.

Le service télégraphique se compose de 65 kilomètres de fil et 35 postes.

Outre le polygone, qui se trouve au nord-ouest de l'usine et qui est marqué sur le plan ci-joint, l'établissement a deux champs de tir :

L'un, de 16 k. 800 de longueur à Meppen, sur la frontière de Hollande ; l'autre, de 7 k. 500, à Dülmen, près de Munster.

Nous ne citerons que pour mémoire les renseignements donnés sur les *logements d'ouvriers*, le *magasin de provisions* — (*Consum-Anstalt*) qui fait annuellement 3 millions d'affaires, sans bénéfices pour la mai-

son, et qui, dans certaines années, aurait même vendu à perte. Tous les achats s'y font au comptant.

Nous regrettons que la place nous manque pour parler des pensions servies aux invalides et aux veuves, par les caisses de secours; et, d'être obligé de passer sous silence, les hôpitaux, les établissements de bains, les assurances sur la vie, les écoles, le service des pompiers.

Mais revenons à l'exposition Krupp. Notons d'abord qu'on n'y voit plus de lingots présentant ces belles cassures compactes, qui ont fait l'étonnement des années précédentes.

Il faut croire que le Creuzot, en 1878, a tué ce genre d'exposition par son fac-simile en bois, qui produisait sur le public, le même effet que le métal. C'est d'un transport plus facile et indéfiniment susceptible d'augmentation.

En dehors de l'artillerie, toujours très développée, il n'y avait rien de bien remarquable à citer, sauf une paire de cylindres polis en acier dur d'un grand diamètre et des pignons d'engrenage, du modèle américain à dents en ligne brisée, ces pignons étaient sculptés à la fraise dans un bloc martelé. C'est un fort beau travail, sans doute, mais il doit correspondre à un prix très élevé. Il me semblerait préférable de mouler une semblable pièce et de la faire en acier coulé sans soufflures, mais ce genre d'industrie dans lequel s'est, de tout temps illustré Bochum, n'était représenté là que par deux croisements, sans la moindre cassure qui pût éclairer le public sur l'homogénéité du métal.

Tout, dans cette exposition, était d'ailleurs assez mal disposé, les objets étaient les uns sur les autres; la place avait manqué et l'on avait dû reléguer, en dehors du pavillon, la pièce capitale dont il nous faut parler, le *canon d'acier de* 72 *tonnes* rival du canon Armstrong de 100 tonnes.

Voici les dimensions principales de cette énorme pièce placée sur un affût de côte du poids de 45 tonnes.

Canon :	Calibre	400 millim.
	Longueur	10 mètres
	Poids, y compris la fermeture	72 tonnes.
Affût :	Recul maximum	$2^m,570$
	Élévation au-dessus de l'horizontale	16 degrés
	Abaissement possible	6 —

Projectile : Longueur en calibres 2,8
Poids de l'obus en acier — chargé . . . 777 kilogr.
Poids de l'obus ordinaire. . . . . 640 —
Poids de la charge explosive, respectivement 10 kilogr. et 33 kilogr. en rondelles de poudre prismatique.

Dans les expériences de Meppen, il a été tiré 41 coups avec 220 kilogrammes de poudre et des projectiles de 800 kilogrammes.

Avec 205 kilogrammes de poudre et un obus de 777 kilogrammes, la vitesse initiale a été de 502 mètres par seconde.

A 5,000 mètres de distance, ce canon de 40 centimètres peut, en tir normal, percer la cuirasse la plus épaisse, c'est-à-dire deux plaques superposées de 30 centimètres.

D'autres pièces de campagne, de modèles intéressants, mais de diamètres plus petits, 150 millim. — 75 millim. — 60 millim., se voyaient aussi exposées, ainsi qu'un *canon-revolver* de 25 millim. de diamètre lançant des projectiles allongés de 235 grammes.

Nous citerons une collection de projectiles de tous calibres et de toutes matières. Ceux qui sont en acier sont indiqués comme *n'étant nullement coulés*, mais bien en acier au creuset ultérieurement forgé.

Un obus de 24 centimètres de diamètre, avec une charge de poudre de 75 kilogrammes, a acquis aux essais de Meppen, en août 1879, la vitesse nécessaire à la perforation, à 150 mètres de distance, d'une cuirasse ainsi composée :

Plaque antérieure de	30c,5
Doublage en bois	5,
Plaque postérieure	20,5

Retrouvé à 2,200 mètres plus loin, il ne présentait qu'un raccourcissement de 16 millim. sur la longueur et un gonflement de 4 millim. en diamètre.

Il est étonnant que, seule de toutes les usines allemandes, celle de Krupp ait cru devoir faire exception et qu'elle n'ait pas admis la libre entrée de ses ateliers pour tous les membres de l'Iron and Steel Institute, soit en corps, soit séparément. Cette exception a été regrettée par tout le monde, par ceux qui n'ayant jamais vu Essen, s'imaginaient y rencontrer beaucoup de choses du plus grand intérêt ; et par ceux qui, connaissant l'usine plus ou moins à fond, et n'y ayant rien vu qu'on

ne pût trouver ailleurs, sur une échelle presque aussi grande, n'auraient pas été fâchés qu'on mît fin à ces allures mystérieuses, qui ne trompent personne.

Si nous passons à l'usine de Hœrde, nous nous trouvons en présence des recherches les plus intéressantes sur la déphosphoration.

Pour caractériser ce qu'il y a de spécialement intéressant dans la coopération allemande relativement à la déphosphoration, il nous faut remonter un peu en arrière.

Lorsque MM. Bolckow Vaughan, prirent, sous l'active direction de M. Richards, le procédé basique de déphosphoration, des mains de MM. Thomas et Gilchrist, quelle était la situation? On en était encore aux tâtonnements de toutes sortes : tâtonnements sur le garnissage, sur la nature et la proportion des additions déphosphorantes, enfin et avant tout, tâtonnements sur la composition de la fonte à traiter.

Pénétré du refroidissement intense, que devait amener une marche lente avec additions n'apportant aucun élément sérieux de chaleur, M. Richards chercha dans la présence du silicium à haute dose, une assurance contre la congélation, ou au moins l'allure froide.

Avec des fontes à 1,5 pour 100 de phosphore, et 2 pour 100 de silicium, l'allure chaude fut maintenue sans doute, mais il fallait de fortes additions basiques, et il ne fut pas prouvé que le garnissage pût résister à une action aussi corrosive.

Le procédé basique de déphosphoration semblait donc fort compromis par cette double nécessité d'avoir des fontes grises fortement siliceuses et un garnissage d'une durée douteuse, lorsque les essais de Hœrde sont venus jeter une lumière nouvelle sur le rôle du phosphore et la nécessité contestable de la présence du silicium pour obtenir des produits convenablement déphosphorés.

Dès le mois de septembre 1879, lorsqu'on essaya dans l'usine de Hœrde le procédé basique de déphosphoration, on étudia les fontes blanches communes ayant la composition suivante :

Silicium	0,5	à	0,9
Phosphore	1,5	à	2

C'était s'écarter radicalement des errements d'Eston, où l'on opérait avec des fontes grises ayant au plus 1,5 pour 100 de phosphore, mais 2 pour 100 de silicium au moins.

Voici le détail de cinq opérations du 30 juin 1880 :

Charge N°	Fonte blanche de Hœrde.	Fonte grise de Hœrde.	Fonte blanche de Metz et Cie.	Fonte blanche de Wendel et Cie.	Scraps d'acier.	Spiegeleisen.	Ferromanganèse.	Total.
1	902	804	962	917	—	260	60	3905
2	870	780	597	655	595	260	60	3817
3	765	790	620	820	520	260	60	3835
4	775	780	880	900	500	260	60	4155
5	815	815	605	885	510	260	60	3950
	20,99 %	20,16 %	18,63 %	21,24	10,8 %	6,61 %	1,52 %	

Charge N°	Chaux.	Scorie.	Acier.	Durée du soufflage jusqu'à disparition des raies du carbone.	Sursoufflage et prises d'essai.			Addition de Spiegel et resoufflage.
1	700	795	3285	14′ 30″	17′ 30″	17′ 48″	—	17′ 54″
2	700	595	3070	9′ 15″	10′ 45″	11′ 45″	11′ 55″	12′ 5″
3	700	745	3354	9′	12′	—	—	1[illegible]′ 8″
4	650	905	3271	8′ 30″	11′ 0″	11′ 30″	—	11′ 30″
5	650	755	3029	9′ 30″	12 20″	12′ 35″	—	12′ 43″
	17,29 %	19,3 %	81,52					

Analyse des Prises d'Essai de l'Opération N° 2.

	Fonte.	Après 2 minutes.	Après 4 minutes.	Après 6 minutes.	Après 8 minutes.	9 minutes 15 sec. Commencement du sursoufflage.	10 minutes 45 secondes.	11 minutes 45 secondes.	11 m. 55 sec. Addition du Spiegel.	12 m. 5 sec. Fin de l'opération.	Analyse du Spiegel.
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	k	l
Si	0,60	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	0,67
C	2,83	2,72	2,48	1,70	0,70	0,16	0,15	0,10	0,09	0,21	4,01
Mn	0,32	0,43	0,42	—	0,30	0,25	0,19	0,17	0,12	0,41	11,25
P	1,28	1,22	1,20	1,25	1,22	1,18	0,48	0,07	0,04	0,08	0,21
S	0,29	0,21	0,27	—	0,29	0,23	0,37	0,20	0,16	0,09	Sp.
Cu	0,01	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	0,08	0,28

Analyse des Scories de l'Opération N° 2.

	b	c	d	e	f	g	h	i	k
SiO_2	18,17	18,03	17,16	21,25	14,83	11,38	10,90	9,85	9,72
P_2O_5	1,09	1,81	2,37	8,46	5,55	12,1	13,00	12,00	10,86
Al_2O_3	0,12	0,38	0,82	0,72	0,49	0,30	1,83	1,00	2,21
Fe_2O_3	0,09	0,60	1,18	1,81	2,34	0,57	2,05	4,94	3,01
Fe O	4,21	3,69	8,24	2,90	5,42	4,15	11,21	12,27	8,28
Mn O	1,91	2,80	2,43	2,96	2,00	1,90	2,15	2,07	5,93
Ca O	67,81	68,02	67,19	61,88	64,00	68,38	51,01	49,55	49,75
Mg O	4,94	4,27	4,60	4,64	8,06	4,37	5,20	4,38	6,42
Ca S	0,47	0,83	0,78	0,96	0,02	0,03	1,65	1,93	2,26
	100,12	100,35	99,73	100,48	99,51	99,02	100,67	100,28	99,56
				Il y a par conséquent dans cette scorie :					
P	0,47	0,79	1,03	1,31	2,42	5,48	5,97	5,39	4,75
Fe	8,83	8,30	3,35	8,52	6,00	4,85	10,14	13,01	9,34
Mn	1,48	2,17	1,86	2,31	1,01	1,32	1,06	1,00	4,30
S	0,21	0,28	0,31	0,40	0,11	0,37	0,73	0,06	1,00

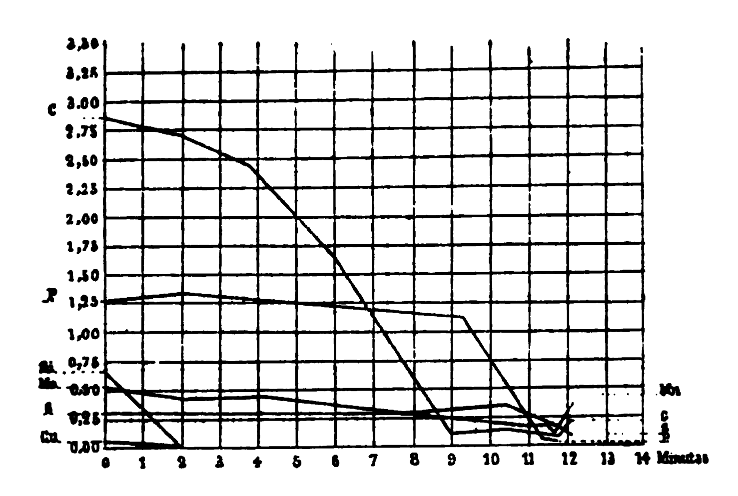
Composition du métal des opérations 1. 2. 3. 4. 5.

	1	2	3	4	5
Si	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.
C	0,209	0,24	0,200	0,249	0,255
Mn	0,503	0,24	0,506	0,581	0,560
P	0,027	0.02	0,027	0,025	0,009
S	0,075	0,09	0,070	0,065	0,067
Cu	0,032	0,08	0,046	0.56	0,007

Composition moyenne des scories 1. 3. 4. 5.

SiO_2	11,46	%
P_2O_5	9,63	—
Al_2O_3	2,50	—
Ne_2O_3	2,48	—
Fe_2O	8,87	—
MnO	6,33	—
CaO	49,57	—
MgO	7,69	—
CaS	1,72	—
Total	100,25	%

Diagramme de l'opération n° 2.



L'opération n° 6 a été faite avec de la fonte de Lorraine en décembre 1879. Elle était composée de :

4,135^{kg}	Fonte blanche De Wendel .	= 62,37	pour 100
2,075	— grise — .	= 31,30	—
420	Spiegeleisen	= 6,33	—
6,630			

On a chargé, de plus,

1,080^{kg} de chaux 16,29

et on a obtenu :

5,415 kilogrammes de lingots
321 — scraps

C'est donc, en ne comptant pas les scraps, 1210 de fonte pour obtenir 1000 de lingots.

Trois prises d'essai de la fonte ont été faites pendant la coulée du cubilot ; elles sont désignées par les n^{os} I, II, III.

Opération n° 6.

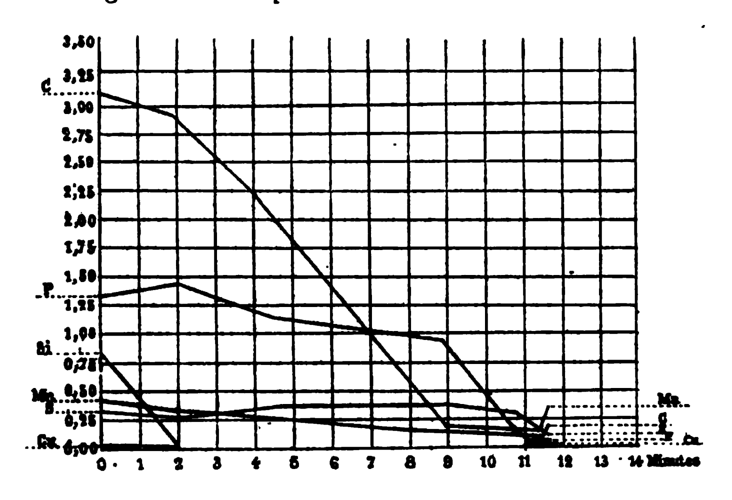
	FONTE.			Moyenne de I, II et III.	2 minutes.	4 minutes 1/2.	6 minutes 1/2.	9 minutes.	10 min. 40 sec.	11 min. 30 sec.	Acier.	Spiegel.
	I.	II.	III.	a	b	c	d	e	f	g	h	i
Si	0,82	0,88	0,80	0,83	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	0,31
C	2,78	3,12	3,21	3,05	2,81	2,21	1,30	0,14	0,13	0,12	0,24	4,40
Mn	0,42	0,36	0,44	0,41	0,29	0,29	0,23	0,11	0,09	0,07	0,36	8,38
P	1,35	1,38	1,38	1,37	1,48	1,17	1,10	0,93	0,20	0,04	0,03	0,15
S	0,20	0,31	0,38	0,33	0,27	0,34	0,35	0,37	0,31	0,18	0,12	Sp.
Cu	0,02	0,01	0,03	0,03	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	Sp.	0,04	0, 3

Voici les analyses des scories correspondant aux différentes prises d'essai.

Scories de l'opération n° 6.

	b	c	d	e	f	g	h
SiO_3	29,83	22,00	23,25	16,63	12,80	10,67	12,25
P_2O_5	2,61	2,22	7,74	5,86	14,34	13,00	12,00
Al_2O_3	3,00	3,07	3,00	2,34	2,00	1,73	2,31
Fe_2O_3	0,14	0,30	1,02	2,00	2,37	3,52	1,01
FeO	4,21	4,80	6,77	4,13	5,97	11,38	9,42
MnO	3,32	3,93	5,30	3,12	2,68	2,51	5,32
CaO	52,33	57,07	46,00	61,74	53,77	49,35	48,38
MgO	5,11	5,85	4,73	4,93	4,90	5,22	5,00
CaS	1,71	1,00	0,78	0,83	1,35	2,27	2,24
	99,65	101,17	99,30	100,83	100,38	100,77	99,91
Ce qui correspond à :							
P	1,14	0,97	3,37	2,37	6,4	5,96	5,54
Fe	3,38	4,11	6,41	4,51	6,28	11,58	8,44
Mn	2,80	3,05	4,23	2,12	2,06	1,97	4,12
S	0,76	0,44	0,35	0,28	0,60	1,01	1,04

Voici le diagramme de l'opération 6 :



Les deux diagrammes des opérations n° 2 et n° 6 sont concordants. Ils montrent, contrairement à l'opinion que l'on avait émise, que, tant

que le silicium brûle, le phosphore reste et se concentre même un peu dans le métal, par suite du déchet résultant de la combustion des autres éléments.

Quant au manganèse, il diminue régulièrement depuis le commencement jusqu'à la fin de l'opération.

Il est remarquable que le soufre se concentre dans la première partie du sursoufflage, pour diminuer ensuite.

Un autre point à noter, c'est que le silicium disparaît d'une manière plus radicale et plus rapide que dans l'opération Bessemer ordinaire, où, à une oxydation initiale très vive en succède une très lente.

En dehors des renseignements fournis par l'usine de Hœrde, nous citerons les analyses du professeur Finkener, de Berlin, communiquées à l'Iron and Steel Institute, par M. Wedding.

La coulée n° 31 se composait de :

2,525^{kg} Fonte blanche de Hœrde
905 — grise
180 Spiegel
40 Ferromanganèse

	Si	C	Ph	S	Mn	Az	Cu
Moyenne de trois prises d'essai de la fonte, au 1/6, aux 3/6, et aux 5/6 de la sortie du cubilot	0,56	3,12	1,398	0,42	0,41	0,07	0,04
Après 5 minutes.	0,01	2,51	1,442	0,44	0,18 / 0,17	0,08	0,04
— 7 min. 30 secondes.	0,006	1,73	1,400	»	0,19	0,08	0,04
— 9 minutes	0,008	1,19	1,354	0,42	0,21	0,07	0,05
— 12 minutes.	0,001	0,07	1,069	»	0,11	0,06	0,05
— 13 min. 15 secondes.	0,005	0,03	0,524	»	0,07	0,07	0,05
— 13 min. 55 secondes.	»	0,08	0,132	0,25	0,10	0,07	0,05
— 14 min. 15 secondes.	»	»	0,066	0,21	0,07	0,04	0,05
Au milieu du sursoufflage...	0,001	0,07	0,046	0,18	0,06	0,08	0,04
Acier.............. ...	0,003	0,20	0,067	0,15	0,31	0,06	0,06
Composition du Spiegeleisen.	0,74	4,70	0,130	0,005	8,60	0,09	0,40

La scorie de cette opération avait, après séparation de 3,1 pour 100 de grenailles d'acier, la composition suivante :

Silice	11,38
Oxyde de cuivre	0,015
Protoxyde de fer	8,24
Peroxyde de fer	3,16
Alumine	2,35
Protoxyde de manganèse	3,50
Magnésie	4,74
Chaux	51,00
Sulfure de calcium	3,15
Acide sulfurique	0,20
Acide phosphorique	12,00
Acide carbonique	0,26
Eau	0,64

Nous rapprocherons ces renseignements sur la pratique du procédé basique, de ceux que nous trouvons aux **Aciéries du Rhin à Ruhrort**. (Rheinische Stahlwerke).

Une coulée portant le n° 125 se composait de :

2,500kg Fonte d'Ormesby (Cleveland)
3,000 — d'Ilsède (Hanovre)
500 — Hollrich (Luxembourg)
300 Spiegel
50 Ferromanganèse

Voici d'après M. Finkener, de Berlin, l'analyse d'une série de prises d'essai.

	Si	C	Ph	S	Mn	Az	Cu
Fonte	1,22	3,21	2,181	0,080	1,03	0,08	0,018
Acier	0,72	3,30	2,148	0,047	0,71	0,07	0,017
Après 2 min. 46 secondes.	0,115	3,12	2,224	0,051	0,50	0,06	0,022
— 5 min. 21 secondes.	0,007	2,47	2,157	0,049	0,18	0,07	0,024
— 8 min. 5 secondes.	0,012	1,49	2,096	0,051	0,16	0,07	0,021
— 10 min. 45 secondes.	0,005	0,75	2,053	0,051	0,14	0,07	0,023
— 13 min. 28 secondes.	0,008	0,02	1,910	0,055	0,01	0,07	0,030
— 15 min. 13 secondes.	0,005	0,02	0,230	0,060	0,01	0,06	0,022
— 19 min. 14 secondes.	0,005	0,02	0,139	0,055	»	0,07	0,024
— 19 min. 31 secondes.	0,004	0,003	0,087	0,056	»	0,05	0,035
— 19 min. 49 secondes.	0,010	0,26	0,148 0,142	0,045	0,48	0,06	0,034
Spiegeleisen	0,28	5,18	0,097 0,096	0,010	13,06	0,11	0,237

La scorie de cette opération, après séparation de 7,36 pour 100 de grenailles d'acier (renfermant 0,92 pour 100 de phosphore) avait la composition suivante :

Silice	12,78
Protoxyde de fer	4,87
Peroxyde de fer	4,06
Alumine	1,12
Protoxyde de manganèse	3,35
Magnésie	7,79
Chaux	47,37
Alcalis	0,17
Soufre	0,05
Acide sulfuriqu	0,13
Acide phosphorique	16,08
Acide carbonique	1,34
Eau	0,09

On sait que les Compagnies de *Hœrde* et des *Aciéries du Rhin* sont possesseurs pour l'Allemagne des brevets Thomas relatifs à la déphosphoration. On comprend donc les efforts considérables que produisent ces deux sociétés pour faire adopter ce procédé par leurs compatriotes, et c'est à cette circonstance que nous devons les facilités d'étude données si libéralement à tous les visiteurs.

Les Aciéries de Ruhrort, comme celles de Hœrde, ne nous montrent pas une usine marchant nuit et jour par le nouveau procédé ; on n'est pas tout à fait sorti de la période d'essai, et, à côté des convertisseurs basiques, dans un atelier voisin, on traite des mélanges de fontes du Cumberland et de Siegen.

Il faut dire cependant que de grands progrès ont été réalisés ; on voit exposés de fort beaux produits, qui sont moins phosphoreux et peut-être plus beaux que leurs similaires provenant du travail des fontes d'hématite. C'est un résultat incontestable qu'il ne faut pas nier. Mais on demande alors avec une impatience bien naturelle : Quelle différence de prix y a-t-il entre l'opération basique et l'opération acide ordinaire ? Il est difficile de répondre à cette question, et cela pour plusieurs raisons.

D'abord, le procédé basique n'est pas appliqué sous sa forme définitive, telle qu'elle résultera de la prise directe au fourneau, quand on sera plus certain de la nature des fontes qu'il faudra traiter. De plus, la diminution de production dans des vases de capacité donnée est un autre élément de renchérissement qui peut se modifier avec

l'expérience. Il y a encore, d'ailleurs, la consommation de matériaux réfractaires, qui peut se modifier beaucoup, et il faut attendre que le *procédé sorte de la période de démonstration pour passer dans la pratique courante.* La difficulté est reculée, sans peut-être pouvoir être résolue pour cela plus rapidement, parce que les usines, qui auront trouvé la formule véritable du traitement, seront inévitablement moins bien disposées à faire part de leur progrès. L'usine Bolckow-Vaughan, à Middlesbro, va marcher prochainement avec un nouveau modèle de convertisseurs, dont elle espère les effets les plus avantageux ; je crois que nous aurons là des renseignements de la plus grande valeur ; attendons-les pour nous prononcer sur la formule économique qui doit caractériser ce procédé si intéressant.

Quoi qu'il en soit, nous devons noter, qu'indépendamment de la lutte contre les matériaux purs, exclusivement réservés jusqu'ici à la fabrication de l'acier, il y a une lutte autrement importante contre le puddlage, cet affinage à bras d'homme, qui fait tache au point de vue humanitaire dans la métallurgie moderne. On produit, par le traitement basique des fontes phosphoreuses pour métal doux, une qualité qu'on n'avait pu réaliser encore jusqu'ici. En présence d'un garnissage acide, on arrivait à une limite d'affinité du carbone pour l'oxygène qui arrêtait la décarburation, et on ne produisait plus que de l'oxyde de fer. Avec un garnissage basique, et une certaine quantité de phosphore en présence, quantité qui n'a pas besoin d'être excessive, on peut faire agir beaucoup plus d'oxygène sans produire autant d'oxyde de fer, et la décarburation se continue bien au delà des limites ordinaires. Il y a là un avenir nouveau pour le procédé basique, accompagné ou non de déphosphoration, et il ne faut pas négliger ce point de vue. C'est probablement de ce côté qu'on réalisera ce métal fondu, essentiellement soudant, fait avec des matières inférieures et destiné à avoir toutes les qualités anciennes du fer sans avoir les inconvénients de l'acier.

Déjà, en Autriche (à Witkowitz) et en Belgique (à Angleur), on produit couramment la matière première convenant parfaitement à la tréfilerie, par le traitement basique, des fontes phosphoreuses au convertisseur Bessemer. C'est, il me semble, le commencement d'une industrie d'avenir, que ne visaient certainement pas, tout d'abord, les inventeurs du nouveau procédé.

Nous terminerons cette étude des aciéries Westphaliennes par quelques mots sur les plus importantes.

On regrettait que les **aciéries de Bochum** n'aient pas envoyé des spécimens de leur belle fabrication.

La compagnie de Bochum a fait mieux que d'exposer ses produits renommés, elle a ouvert ses portes, autrefois aussi hermétiquement closes que celles des aciéries d'Essen.

Nous donnons un plan de Bochum avec l'indication des différents ateliers, dont se compose cette immense agglomération. (Pl. 12).

Ce qui a fait la grande réputation de cette usine, ce sont ses moulages d'acier sans soufflures, dont le procédé serait passé ensuite chez Krupp, mais sans y atteindre la même importance, ni la même perfection.

C'est à M. Mayer, fondateur de cette usine (1842) qu'est dû le procédé du moulage de l'acier. On sait que cette méthode consiste dans la production d'un acier un peu dur, additionné de fonte siliceuse et soumis ensuite à un recuit assez intense. Jusqu'à présent la plus grande pièce d'acier coulé, est une cloche de Bochum du poids de 15 tonnes. On se rappelle, à l'Exposition de 1867, cette série de roues pleines coulées ensemble, qui faisait l'admiration générale par la pureté de leur moulage et l'homogénéité du métal.

D'abord, exclusivement aciérie au creuset, l'usine de Bochum a introduit successivement les procédés de fabrication plus économiques, le Bessemer en 1863, le procédé Martin-Siemens en 1873.

L'aciérie Bessemer possédait autrefois sept convertisseurs ; on en a supprimé quatre, en produisant tout autant avec les trois autres. Chacun d'eux est de la capacité de sept tonnes et demie, et le maximum de leur production réunie a atteint 56 opérations en 24 heures.

L'atelier Martin-Siemens renferme huit fours, dont six sont constamment en activité.

L'aciérie, qui, avant l'adoption des procédés Bessemer et Martin employait 1200 creusets par jour, n'en a plus qu'un petit nombre, qui sont chauffés par des gazogènes Siemens.

Dans la visite faite par les membres de l'Iron and steel Institute, on a beaucoup admiré le laminage des rails.

On sait que c'est à Bochum qu'on a imaginé de ne pas laisser refroidir les lingots pour rails. Ils sont introduits, en sortant de la lingotière, dans un long four analogue aux fours dormants des tôleries

et on les approche peu à peu jusqu'à ce qu'ils aient atteint la chaleur convenable (*Rollofen* ou four à roulage). Cette pratique de ne pas refroidir les lingots était déjà usitée chez Krupp, pour les diamètres supérieurs à 50 centimètres; elle empêche les cassures par inégalité de retrait et facilite le chauffage à cœur.

Le train à rails n° 1 a deux cages indépendantes, pour éviter les pertes de temps dues aux changements de cylindres. Il produit 750 rails en 12 heures.

Le train à rails n° 2 sert aux profils de 17 à 25 kilogrammes par mètre courant et aux traverses en métal fondu; sa puissance de production est de 400 à 600 rails par 12 heures ou 2,000 traverses.

Nous ne parlerons que pour mémoire de la fabrication des bandages, des roues pleines ou à rais, et nous dirons seulement que cet atelier produit 20 paires de roues montées par jour.

L'atelier des canons est fort intéressant sans doute, mais il manque de cette alimentation solide que donne le gouvernement; on sait que la maison Krupp a seule le privilège de fournir l'armée prussienne. L'usine de Bochum en est réduite à travailler pour la Chine, la Japon, les républiques de l'Amérique du Sud; c'est dire que cette fabrication est intermittente et ne peut atteindre le développement qu'elle a pris à Essen.

La production mensuelle de l'usine ne dépasse pas 9000 tonnes, mais elle pourrait être beaucoup augmentée.

Les deux hauts fourneaux de Bochum marchent en fonte Bessemer et produisent chacun 50 tonnes environ par 24 heures.

La consommation de la houille (1,000 tonnes par jour) est tout entière fournie par les mines de la Cie Maria-Anna et Steinbank, voisines de l'établissement. C'est avec ces houilles traitées au lavoir Lührig, que l'on obtient régulièrement ce coke à 4 3/4 0/0 de cendres, dont nous avons déjà parlé.

Les chemins de fer de l'usine ont une longueur de 15 kilomètres de voie normale et de 8 kilomètres de voie étroite.

Il y a actuellement 3,300 ouvriers aux aciéries, 1200 aux charbonnages et 450 aux mines de fer de Siegen.

Les Aciéries de Gutehoffnungshütte possèdent, à Oberhausen, 4 convertisseurs Bessemer pouvant produire annuellement 40,000 tonnes de rails. La fonte est obtenue dans les fourneaux de la Compagnie, mais principalement avec les minerais d'Espagne et d'Algérie; les

usines n'étant qu'à 7 1/2 kilomètres du Rhin, sont bien placées pour l'importation et l'exportation.

La **Compagnie du Phœnix** à Laar, près Ruhrort, possède deux convertisseurs Bessemer, et quatre fours Martin-Siemens.

L'Union, de Dortmund, possède dans cette ville trois hauts fourneaux alimentant quatre convertisseurs Bessemer. Elle a, de plus, des fours Martin-Siemens dans cette usine, ainsi qu'à Steele.

Nous ne parlerons pas de son exposition, qui présentait de nombreux échantillons de lingots Bessemer et de rails d'acier. On y voyait un rail de $38^m,60$, du poids de 1300 kilogrammes et un autre de $52^m,20$ et du poids de 1170 kilogrammes. Il faut un outillage puissant pour faire de semblables tours de force.

En métal doux, on voyait une barre, pour traverse, d'un profil assez analogue à celui de la voie Vautherin (chemins de fer Rhénans), pesant 810 kilogrammes et ayant 46 mètres de longueur.

Pour donner une idée de la puissance de cette agglomération d'usines (Dortmund, Henrichshütte, Horst) nous indiquerons sa production en 1879 :

Houille.	229 544	tonnes
Coke	147 600	—
Minerais de fer.	47 151	—
Blooms d'acier	75 300	—
Acier fondu	77 203	—
Fer et acier laminé	127 607	—
Divers	14 000	—

Il nous resterait à dire encore quelques mots des aciéries de **Rotheerde** à Aix la Chapelle. Cette usine, qui a deux convertisseurs Bessemer, fait actuellement des essais de déphosphoration. Elle peut, en effet, se procurer assez économiquement les fontes du Luxembourg et se servir des houilles du petit bassin houiller de Wurm et Inde, qui est voisin.

CHAPITRE XII.

RENSEIGNEMENTS STATISTIQUES.

Nous ajouterons quelques renseignements statistiques, qui n'ont pu trouver place jusqu'ici et qui nous donneront, sur l'importance métallurgique de l'Allemagne, des chiffres généralement peu connus.

Le district de Dusseldorf est d'une importance spéciale comme *moulage de fonte :*

Voici, pour l'Allemagne entière, les quantités de fonte employées à cet usage :

Districts de	Düsseldorf	43 000	tonnes
—	Saxe	41 000	—
—	Liegnitz	35 000	—
—	Arnsberg.	30 000	—
—	Magdebourg	25 000	—
—	Oppeln	41 000	—
—	Berlin.	18 000	—
—	Alsace.	17 000	—
—	Trèves	17 000	—
—	Autres districts réunis. . .	15 000	—

En comprenant le Luxembourg, la production totale de moulages en Allemagne est de 414 000 tonnes, se décomposant ainsi :

Pièces de machines. . . .	208 100	ou	50 27 0/0
Poterie	32 600	—	7 88
Tuyaux	50 000	—	12 17
Fonte trempée	11 600	—	2 81
Fonte malléable	1 900	—	0 48

Sur 957 fonderies, 324 se livrent exclusivement à cette industrie,

154 sont réunies à des forges et les autres à des ateliers de construction.

Il y a encore en Allemagne 178 *feux d'affinerie* au charbon de bois, traitant presque exclusivement des riblons et produisant 22 300 tonnes de fer.

En 1878, il y avait 2301 fours à puddler, dont 1533 en feu, produisant 1 230 000 tonnes de fer. La production des rails en fer a été de 50 000 tonnes et celle des traverses en fer de 75 000 tonnes.

Fer marchand	562 000	tonnes
Tôles	147 000	—
Fil de fer	178 000	—
Fer blanc	8 500	—
Tuyaux soudés	4 800	-
Acier cémenté	150	—

La production du fer se répartit ainsi :

District de la Ruhr	150 000	tonnes
District d'Arnsberg	350 000	—
Haute-Silésie	200 000	—
Sarrebrück	125 000	—
Lorraine	125 000	—

L'*Acier fondu* prend en Allemagne une extension de plus en plus grande, au point de surpasser prochainement la production du fer.

Sur 50 établissements, qui se livrent à cette fabrication, 18 ne font que ce produit, surtout au creuset; les autres y adjoignent d'autres industries.

37 convertisseurs Bessemer, sur 64, sont actuellement en marche et sur 43 fours Martin-Siemens 26 seuls sont en travail.

La production a été :

Acier Bessemer	491 700	tonnes
Acier sur sole	50 000	-

qui ont donné 370 000 tonnes de rails.

La région de la Ruhr (districts d'Arnsberg et de Düsseldorf) a produit, à elle seule, plus de 400 000 tonnes d'objets en acier fondu, en 1878.

Production de la Prusse de 1837 à 1879.

ANNÉES.	FONTE.	MOULAGES en 2me fusion.	FER ET ACIER FONDU.	ACIER FONDU.
1837	99.500t	6.896t	74.348t	35t
1838	93.479	8.056	78.595	42
1839	106.347	10.612	84.914	37
1840	111.503	13.765	92.080	33
1841	108.492	16.230	97.896	47
1842	100.947	19.485	98.658	47
1843	101.069	20.080	110.750	47
1844	98.963	20.676	115.700	77
1845	109.552	37.041	146.203	94
1846	117.055	36.242	153.301	63
1847	137.898	32.247	184.631	224
1848	127.926	24.003	144.150	261
1849	117.093	22.708	126.905	521
1850	134.994	29.929	159.715	908
1851	147.790	35.544	182.884	872
1852	167.211	49.377	227.847	6.819
1853	210.934	53.181	261.608	2.218
1854	261.533	67.016	274.856	7.255
1855	301.387	85.840	317.401	8.967
1856	363.881	88.011	460.176	8.943
1857	397.274	96.195	357.462	8.800
1858	413.343	109.397	387.236	9.270
1859	396.892	74.930	347.844	9.232
1860	395.741	76.675	352.334	9.813
1861	449.339	88.031	382.305	14.795
1862	526.077	98.663	447.795	17.664
1863	636.679	129.207	489.856	23.664
1864	705.967	147.937	546.471	39.065
1865	771.903	155.752	610.382	67.667
1866	803.552	138.897	595.735	83.737
1867	987.668	164.824	680.282	88.589
1858	1.053.260	177.356	779.090	92.696
1869	1.180.579	210.544	918.178	109.753
1870	1.155.591	204.687	913.994	125.814
1871	1.297.940	251.407	1.181.874	143.305
1872	1.457.835	323.976	1.262.035	189.337
1873	1.573.902	359.229	1.279.525	247.540
1874	1.280.269	330.244	1.460.909	324.695
1875	1.398.337	329.670	1.346.395	317.764
1876	1.324.339	297.673	1.268.215	340.083
1877	1.421.667	283.071	1.255.923	391.110
1878	1.568.061	277.190	1.437.643	462.507
1879	1.639.676	304.612	1.477.116	469.096

CHAPITRE XIII.

INDUSTRIES ACCESSOIRES.

Il nous semble difficile de clore cette *Étude générale sur l'Exposition de Düsseldorf et l'Industrie du fer et de l'acier dans les provinces Rhénanes*, sans parler de quelques industries accessoires, qui y étaient représentées par des objets remarquables.

Produits réfractaires.

Nous avons déjà vu, lorsqu'il s'est agi de hauts fourneaux, que l'industrie des produits réfractaires pour la métallurgie était loin d'être en retard dans cette partie de l'Allemagne; les prix sont assez élevés comparativement à l'Angleterre; on parle de 50 francs la tonne pour les briques de hauts fourneaux sous vergues à Rotterdam.

Deux grands établissements sont surtout renommés, *Otto et Cie*, à Dalhausen sur Ruhr et *Vygen et Cie*, à Duisbourg sur le Rhin.

Ces deux établissements, outre la brique réfractaire ordinaire, font également la brique façon Dinas, renfermant 98 pour 100 de silice, et cuite au four à gaz.

Un autre type de briques (dont la fabrication a été aussi entreprise par Otto et Cie), est la spécialité de Vygen et Cie, je veux parler des *briques basiques*.

Ces briques ont la composition suivante :

Chaux	52,3
Magnésie	33,7
Silice	6,5
Alumine et oxyde de fer	7,2

La production journalière est, dès maintenant, de six tonnes par jour. La cuisson se fait dans des fours spéciaux, qui sont aménagés pour une production journalière, pouvant atteindre trente tonnes par jour.

Vygen et Cie, est, à notre connaissance, la seule usine du continent, qui ait cherché à se faire une spécialité de cette nouvelle espèce de produit réfractaire. Ces briques basiques se vendent cent francs la tonne à l'usine.

Il faut citer, je pense, à côté de ces produits marchands, les tuyères basiques de Hœrde pour opération Bessemer. Elles sont faites, d'une manière très rationnelle, avec de la dolomie cuite à outrance, et qui, par conséquent, a fait son retrait; cette dolomie pulvérisée est ensuite mélangée de goudron, moulée sous la forme désirée et cuite légèrement pour produire l'agglomération par la décomposition des hydrocarbures et la production d'un ciment charbonneux.

Gazogènes.

Deux gazogènes assez intéressants pouvaient se voir à Düsseldorf.

1° Le gazogène *Greubé-Lürmann* a été l'objet d'une communication à l'Iron and steel Institute.

Voici le principe de cet appareil : on sait que dans la production du gaz avec les gazogènes, quels qu'ils soient, il y a deux phénomènes qui se passent.

D'abord, la *distillation de la houille;* c'est-à-dire, la volatilisation des goudrons et hydrocarbures qu'elle renferme. Cette opération se fait avec une certaine consommation de chaleur, *dont nous pouvons avoir une idée par la quantité de combustible brûlée sous les cornues des usines à gaz, pour produire un poids donné de gaz d'éclairage.* Le résidu de cette distillation est du *coke.*

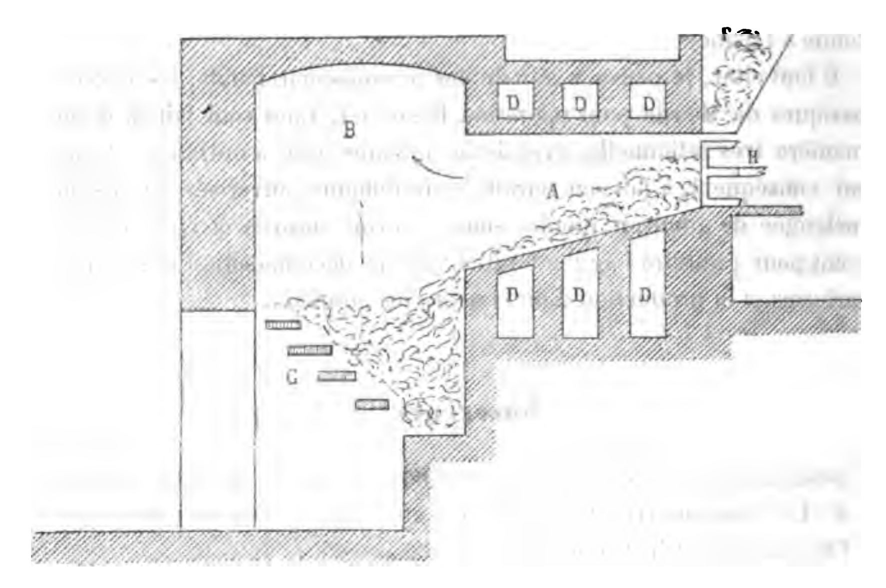
Vient ensuite la *gazéification du coke,* par sa combustion partielle avec accès d'air, sous forme *d'oxyde de carbone.*

Le mélange de ces hydrocarbures distillés et de cet oxyde de carbone constitue le gaz sortant des gazogènes, et destiné à être brûlé, avec ou sans régénération de chaleur.

M. Lürmann (d'Osnabrück), connu déjà par sa tuyère à écoulement constant de laitier, a eu l'idée, conjointement avec M. Greubé, de séparer, dans un gazogène spécial, ces deux phases de la production du gaz pour les usages industriels.

En A (voir figure page 402) est une chambre, dont la sole inférieure est en pente. Par la trémie F, et au moyen d'une disposition mécanique

H, se fait le chargement du charbon. En D, D, D, passent en dessous, tout ou partie des gaz brûlés dans l'opération industrielle à laquelle



concourt le gazogène. Sous l'action de cette chaleur, a lieu la distillation des parties volatiles, et la houille se transforme en coke.

Par le chargement mécanique, une partie de ce coke, celle qui est le plus à gauche, est refoulée et tombe en B dans un gazogène ordinaire avec grille à gradins ou horizontale. Sous l'action de l'air, dont l'admission est réglée, ce coke se transforme en oxyde de carbone, qui se mêle aux produits de la distillation de la houille et constitue le gaz.

Tel est le principe du gazogène Lürmann.

Les avantages que réclame son inventeur sont les suivants :

Emploi possible de charbons très menus.

Emploi possible de charbons maigres, l'agglomération pendant la distillation n'étant pas contrariée par le contact de l'air et se trouvant alors suffisante.

Emploi possible de charbons collants, le chargement mécanique permettant toujours le refoulement du coke dans la fosse B.

Enfin, production de gaz à une température plus élevée, celui-ci n'étant pas refroidi par la distillation de la houille, puisqu'elle est effectuée au détriment des chaleurs perdues de l'opération.

Ces avantages se justifieraient en partie par l'expérience et amèneraient de ce fait une économie assez notable. Mais il y a, à notre avis,

une objection à faire au gazogène Lürmann ; *il faut supposer qu'on n'emploie pas la régénération de chaleur* qui, seule jusqu'à présent, a produit les températures les plus élevées. Néanmoins, il paraît que ce gazogène réalise une amélioration et une économie notables par rapport aux autres systèmes, où les gaz, au sortir des fours, servent à produire de la vapeur; ainsi on parle de 2 à 3 kilog. de vapeur par kilogramme de charbon brûlé.

2° Un autre type de gazogène est celui de *M. Piedbœuf.* C'est une sorte de caisse rectangulaire en fonte, dont les parois sont revêtues intérieurement de garnissage réfractaire. Comme dans le gazogène Boëtius, l'air, qui sert à la transformation en oxyde de carbone, est chauffé au contact des parois ; il en résulte une température élevée, qui rend difficile le maintien du revêtement réfractaire. Par la forme condensée et sa forte puissance de gazéification, cet appareil est remarquable.

ARMURERIE.

Nous aurions pu parler de l'usine de **Witten** dans l'énumération des aciéries de la Ruhr. C'est uniquement une aciérie au creuset et, à en juger par son exposition, il en sort de fort belles pièces forgées et des moulages très remarquables. Nous préférons, ainsi que le catalogue d'ailleurs l'avait fait avant nous, parler de Witten, comme fabrique d'armes.

Nous ne dirons rien des canons d'acier, de 15 et de 7 centimètres, tout le monde en fait dans ce pays, quand on a des commandes; et il n'est pas de notre ressort, de juger à ce point de vue le mérite relatif des usines.

Nous dirons plutôt que Witten, outillée puissamment à l'américaine, peut produire 300 fusils par jour. C'est surtout le type Martini-Henry, qui est la spécialité de l'usine, mais elle peut également entreprendre d'autres systèmes. On sait que le fusil Martini-Henry est adopté en Angleterre, dans l'Inde, en Turquie, en Roumanie, et ailleurs encore. C'est lui, qui, dans le concours avec 68 autres systèmes, a eu la préférence en Angleterre. A Witten, l'arme est produite par 196 opérations successives et, comme dans la manufacture de Saint-Étienne, tout le travail est fait à la fraise.

TUYAUX LAMINÉS ET CHAUDIÈRES PIEDBŒUF

La fabrication des tubes en fer soudés de la maison Piedbœuf, de Düsseldorf, est bien connue par la qualité de ses produits.

Les tôles de fer, découpées en bandes et chanfreinées sur le bord, subissent, dans un premier travail d'*ébauchage*, un soudage à la main à une des extrémités, pour faciliter l'*enroulage*, qui se fait ensuite d'une seule chaude sur mandrin. Le *soudage* qui a lieu en une passe sur mandrin, est très remarquable, par la vitesse avec laquelle il se fait et par l'homogénéité que présente le recouvrement dont on ne trouve plus trace ensuite.

Cette fabrication était représentée, à l'Exposition, par une série de tubes de grande longueur et de toutes dimensions. Mais ce qu'il y avait de plus remarquable, c'est qu'outre les tubes en fer, il y en avait en *acier doux soudé*. On avait cherché à écraser des échantillons de ces derniers par un effort longitudinal et le métal s'était plissé et aplati sur lui-même, sans criqûres ni déchirures ; c'étaient des spécimens de qualité, vraiment très remarquables. Une seule nature d'acier avait pu réussir jusqu'ici pour cette fabrication, c'est un certain acier Bessemer de Suède.

A côté de cette industrie si intéressante, nous ne pouvons passer sous silence la *fabrication des chaudières de Piedbœuf*. Les tôles de cette maison sont remarquables pour leur qualité, car on s'y engage à satisfaire aux conditions suivantes :

		Résistance.	Allongement pour 100.
N° 1	en long	38 kil.	 18
	en travers. . . .	35 »	 12
N° 2	en long	35 »	 15
	en travers. . . .	32 »	 10
N° 3	en long	33 »	 10
	en travers. . . .	30 »	 5

Quand on a fabriqué, pour la marine française, des tôles à 31 et 33 kilogrammes de résistance, en long comme en travers, on apprécie ce que signifient les chiffres ci-dessus. On ne s'étonnera donc pas, qu'à côté des ces produits, dont nous voyons à l'Exposition de fort

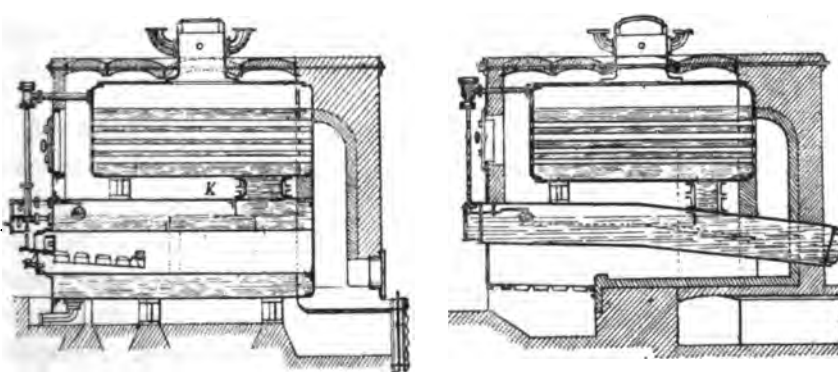
beaux échantillons comme dimensions (1 tôle de 6500 — 2450 — 10 et une rondelle de 2620 — 22), il se soit formé un atelier de construction de chaudières renommées.

En France, nous renonçons, à tort ou à raison, aux chaudières à foyer intérieur. En Prusse Rhénane, on continue d'en faire beaucoup et on ne s'en plaint pas. Est-ce dù à la qualité de la matière ou à une différence de construction, je n'en sais rien? Il existe ainsi, un type de chaudière de ce genre, qui était très remarqué et aurait depuis quelque temps déjà subi la consécration de la pratique; c'est la chaudière Piedbœuf, dont nous donnons ici le dessin. Cette chaudière est composée d'une partie inférieure à foyer intérieur, surmontée d'une partie tubulaire. Ce qu'il y a de très remarquable, c'est qu'il y a deux réservoirs de vapeur, l'un dans le corps inférieur, grâce à une cloison verticale R, et l'autre au-dessus de la partie tubulaire. Comme les espaces renfermant l'eau sont en communication directe, il faudrait, pour qu'un accident arrivât par manque d'eau, qu'il y eût évaporation d'une colonne liquide de 2 mètres de hauteur, avant que la flamme ne vînt brûler la voûte supérieure des foyers.

L'utilisation du combustible y est, paraît-il, très bonne, ce qui est très naturel avec une semblable circulation des gaz.

L'emplacement est très économisé, car pour une surface de chauffe de 210 mètres, il faut seulement 6m,50 de longueur sur 3m,60 de largeur.

Chaudière Piedbœuf à foyer intérieur. Chaudière Piedbœuf à bouilleur.



Le même système peut s'appliquer avec bouilleur et sans foyer intérieur, si on préfère, comme le montre le dessin ci-joint.

Nous terminerons ici cette étude, trop longue sans doute, quoique bien incomplète encore, en exprimant le vœu qus nos Collègues cherchent davantage, dans la région de la Ruhr, des renseignements profitables. Ils trouveront, dans toutes les usines, l'accueil le plus cordial. Comme l'a dit très bien M. Massenez à Hœrde : « Ce sera la gloire « de l'Iron and Steel Institute de montrer qu'en fait de science et d'in-« dustrie savante, il ne doit pas y avoir de frontières. »

NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

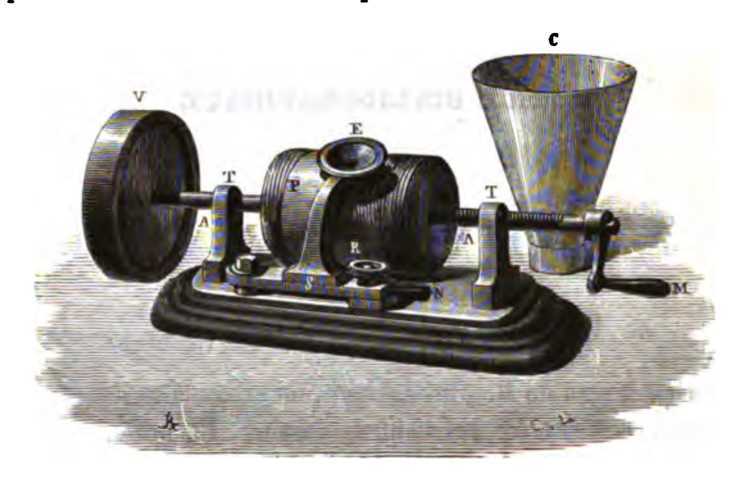
La Société a reçu de M. Alfred Angot, un exemplaire de son *Traité de Physique élémentaire* qui vient de paraître. En présence de l'importance de cet ouvrage et des services qu'il peut rendre à un grand nombre de nos Collègues, nous avons pensé qu'il y avait lieu de leur signaler son apparition autrement que par la mention au procès-verbal, et qu'il serait utile de le leur faire connaître par une analyse très courte du reste.

Ce traité de Physique, bien que conforme aux programmes de l'enseignement dans les lycées et au programme du baccalauréat ès sciences, contient en effet les questions nouvelles et les théories de la physique moderne. C'est l'œuvre d'un homme jeune qui, ayant acquis à l'École normale supérieure le grade d'Agrégé de l'Université et le titre de Docteur ès sciences physiques, s'est intéressé vivement aux découvertes récentes et a résumé d'une façon claire et concise les leçons qu'il fait à son tour.

Dès les premières pages de l'ouvrage, nous remarquons les lois de transformation et de conservation de l'énergie; dans la Chaleur, nous trouvons l'explication des expériences de MM. Cailletet et Pictet sur la liquéfaction des gaz considérés jusqu'alors comme permanents, et un dessin très complet de l'appareil qui a permis de réaliser ces expériences, ainsi que la Théorie mécanique de la Chaleur et les derniers progrès de la machine à vapeur, qui sont indiqués au moins d'une façon sommaire.

Le chapitre de l'Acoustique contient, entre autre nouveautés, la

théorie du timbre et le phonographe d'Edison, si intéressant par la simplicité de sa construction et la perfection des résultats obtenus.



L'Électricité contient naturellement le plus de choses nouvelles.

Dans la Statique : la machine de Holtz qui a partout remplacé les vieilles machines et qui donne dans le même temps près de trente fois plus d'électricité, pour la même surface utile de plateau ; le paratonnerre de Melsens appliqué notamment à l'Hôtel de Ville de Bruxelles, qui est beaucoup moins coûteux et plus efficace que les paratonnerres de Franklin.



Dans le chapitre de l'Électricité dynamique, on trouve : l'exposition des lois des courants ainsi que les moyens pratiques de mesurer les résistances et les forces électromotrices, la définition des nouvelles unités, la description du galvanomètre Thomson si employé aujourd'hui, les nouveaux systèmes de télégraphes multiples, duplex et quadruplex qui permettent de faire passer rigoureusement dans le

même temps, quatre dépêches par un même fil, deux dans une direction et deux dans l'autre; les machines d'induction de Siemens et de Gramme, les téléphones et microphones dont l'étude est si nouvelle et si curieuse, et la lumière électrique une des questions qui offrent aujourd'hui le plus d'actualité.

Dans l'Optique, un chapitre spécial est consacré à la spectroscopie, un autre à la photographie et ses nombreuses applications, héliogravure, etc...

Le chapitre consacré à la Météorologie est, on peut le dire, complètement nouveau, on y trouve des cartes et des données numériques des



plus intéressantes, ce qui ne surprendra personne, puisque l'auteur a été récemment nommé météorologiste titulaire au Bureau météorologique de France.

Ajoutons en terminant, que l'impression et l'exécution des figures sont à la hauteur du sujet.

Enfin, ce livre comble la lacune que nous sentons tous, entre ce que nous avons appris à l'École et ce dont nous entendons tous les jours parler autour de nous.

G. Delaporte.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU

MOIS D'OCTOBRE 1880

Séance du 1er Octobre 1880.

Présidence de M. Gottschalk.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 6 août, qui figure dans le dernier Bulletin distribué, est adopté.

Avant de passer à l'ordre du jour, M. le Président demande à l'assemblée la permission de l'entretenir des faits intéressant la Société, qui se sont accomplis depuis la séance du 6 août.

Il s'exprime comme suit :

Le 8 août, les anciens élèves des Arts et Métiers ont, sous la présidence de notre sympathique collègue et vice-président, M. Martin, célébré le centenaire de la fondation de leurs Écoles, par une brillante fête, à laquelle ils ont aimablement invité le bureau de la Société.

Le bureau a répondu à ce cordial appel, et nous avons eu occasion d'exprimer à l'Association des anciens élèves de ces écoles, le regret que nous éprouvions de ne pas compter un plus grand nombre de membres de la Société parmi les ingénieurs, anciens élèves des Arts et Métiers, et l'espoir que nous avions de voir de nouvelles recrues rejoindre leurs Collègues sur le véritable terrain du génie civil et de l'initiative privée.

Ainsi que la Société en avait été officiellement informée, l'Association française pour l'avancement des sciences, a tenu son congrès à Reims, du 12 au 19 août. Nous avons la bonne fortune de vous annoncer que notre éminent collègue, M. Trélat, qui y a présidé les troisième et quatrième sections (navigation, génie civil et militaire), veut bien nous faire dans une prochaine séance le compte rendu de ses travaux.

La session de l'Institut du fer et de l'acier (Iron et Steel Institute) a eu lieu du 24 au 28 août.

Elle a choisi pour centre la ville de Düsseldorf, placée à proximité du

bassin houiller et des importants établissements métallurgiques du district de la Ruhr, où la nouvelle méthode de déphosphoration par les procédés Thomas et Gilchrist se trouve déjà appliquée sur une vaste échelle.

Düsseldorf présentait en outre l'intérêt d'une exposition régionale, remarquable surtout au point de vue de l'industrie minière et métallurgique.

J'ai pris part à cette réunion avec bon nombre de nos Collègues, parmi lesquels je citerai tout d'abord MM. Jordan et Gautier, et j'ai la satisfaction de vous apprendre, que ce dernier nous a déjà déposé un volumineux et très intéressant travail, qui vous sera communiqué par son auteur dans la prochaine séance.

Ce travail traite non seulement de l'exposition de Düsseldorf, mais encore de l'industrie du fer et de l'acier dans les provinces Rhénanes, et de l'application assidûment poursuivie en Allemagne des voies entièrement métalliques.

Nous osons espérer qu'il se trouvera également des rapporteurs pour nous décrire ce que contient d'intéressant pour le génie civil, la belle exposition nationale de Bruxelles.

D'une manière générale, cette exposition démontre que la Belgique suffit et au delà à sa consommation dans tous les genres, et qu'elle excelle surtout dans les produits de ses industries métallurgique et mécanique.

Ces deux groupes de la seconde section de son exposition méritent de nous être signalés dans des rapports circonstanciés et spéciaux.

Depuis longtemps nous connaissions les produits métallurgiques belges, en tête desquels viennent s'inscrire ceux des vastes établissements de la société Cockerill, les seuls comparables au point de vue de la multiplicité de leurs productions, à nos grands établissements du Creuzot.

Parmi les produits métallurgiques exposés, nous avons trouvé des aciers et des tôles vraiment remarquables et déjà quelques spécimens d'acier fabriqué avec des fontes phosphoreuses. Mais ce qui frappe avant tout à l'Exposition de Bruxelles, ce sont les machines fixes, les machines-outils et à métiers de toutes sortes et surtout les locomotives et en général tout le matériel des chemins de fer.

Ce dernier prouve, par ses tendances au progrès, que si l'exploitation des chemins de fer de l'État belge, a donné naissance à quelque critique, comme toutes les exploitations industrielles par l'État en général, cette critique doit surtout s'appliquer à la partie purement administrative et commerciale et non pas tant à l'exploitation technique.

L'administration des chemins de fer de l'État, a profité de l'occasion pour exposer ses nombreux types de machines, voitures et wagons, parmi lesquels nous avons trouvé des types très dignes d'attention et quelques idées nouvelles.

Là, plus que partout ailleurs, notre éminent collègue, M. l'inspecteur général Belpaire, qui nous a depuis longtemps habitués aux innovations les plus hardies, se fait remarquer par l'exposition d'une machine-tender pour trains légers, dans laquelle il a trouvé moyen d'introduire une nouvelle

forme de chaudière, un nouveau montage de tout le mécanisme sur une plaque de fondation boulonnée au bâti, une nouvelle fermeture des cylindres par pression centrale, une nouvelle distribution sans excentrique, un nouveau mode de liaison de l'essieu coudé moteur avec le bâti de la machine, enfin et surtout un nouveau mode de construction des roues avec fixation spéciale des bandages.

Les types des machines à quatre et huit roues couplées à tenders séparés sont bien étudiés et d'une bonne exécution.

Des machines à six roues couplées de 1^{m},700 de diamètre y représentent les machines à voyageurs de l'avenir.

Le matériel voitures et wagons a profité de toutes les améliorations apportés tant en Belgique que dans les États voisins.

Certains spécimens de matériel roulant pour voie étroite sont également remarquables. Enfin le matériel de la voie est intéressant à étudier surtout au point de vue de l'application de voies entièrement métalliques.

Mais l'étude détaillée de tout ce matériel demandait un temps beaucoup plus considérable que celui que je pouvais y consacrer, et fera, je l'espère, l'objet de rapports spéciaux que nous nous efforcerons de provoquer par tous les moyens possibles.

Nous souhaiterions, en terminant ce chapitre des expositions, qu'un de nos Collègues électriciens, nous fît une communication spéciale au sujet de l'établissement, du prix de revient et de l'avenir des chemins de fer système Siemens, dans lesquels les convois sont mis en marche par l'électricité provenant d'une source fixe.

Nous avons trouvé des spécimens de ces chemins à chacune des expositions de Düsseldorf et de Bruxelles, où un convoi composé d'un petit appareil moteur et d'une ou deux voitures, servait au transport des visiteurs.

A Düsseldorf la même source d'électricité faisait manœuvrer par un procédé analogue une grue de chargement et un chariot à wagon. Ces deux applications, tout à fait nouvelles, nous paraissent mériter intérêt.

Entre les visites aux expositions de Düsseldorf et de Bruxelles, j'ai pris le temps d'aller voir, ainsi que je l'avais proposé à mes Collègues, l'exploitation des chemins de fer de l'État néerlandais, par une Compagnie fermière, qui exploite aujourd'hui environ 1,100 kilomètres de chemins dont quelques-uns encore fort peu productifs.

Cette étude m'a été facilitée par l'excellent accueil de M. Vrolik, le directeur de la Compagnie fermière, que je prends occasion de remercier ici et auprès duquel le même accueil attend tous ceux de nos Collègues, que l'étude de ses chemins pourrait intéresser. Nous aurons occasion de revenir, en temps opportun, sur cette question des Compagnies fermières, qu'il n'est peut-être pas utile de réveiller pour le moment, l'opinion publique, à laquelle les discussions de la Société n'ont pas été étrangères, semblant s'être prononcée sur la question des chemins de fer.

Il suffira de dire aujourd'hui que le grand principe que M. Vrolik cherche à mettre en application, *c'est de faire mieux que l'État*, si ce dernier

opérait directement; sa Compagnie, dont c'est la seule raison d'être, justifie par là les considérations mises en avant par le ministère lui-même, qui s'exprimait ainsi dans l'exposé de motifs du projet de loi créant la Société fermière : « Le Gouvernement accorde la préférence à l'exploitation par « l'industrie privée; l'exploitation des chemins de fer rentre essentielle- « ment dans le domaine de l'activité particulière. Le Gouvernement qui « l'entreprend sort de son cercle d'action. L'État constructeur des lignes « réclame le concours de l'industrie privée, et procède par adjudication.

« Le zèle et la capacité des fonctionnaires publics, ne saurait rivaliser « avec ce que produit l'industrie privée en fait d'exploitation. »

Enfin, et puisque j'ai été amené à vous parler de la question des chemins de fer, je ne saurais mieux faire, en terminant cette revue rétrospective des faits intéressant la Société, qui se sont accomplis pendant nos vacances, que d'appeler votre attention sur le remarquable rapport présenté au Ministre des Travaux publics, au nom de la commission d'enquête sur les moyens de prévenir les accidents de chemin de fer, par le Président de cette commission, M. l'inspecteur général des mines G. de Nerville (voir *Journal officiel* du 8 août 1880), ainsi que sur la circulaire de M. le Ministre des Travaux publics, en date du 13 septembre, qui en a été la conséquence (voir *Journal officiel* du 21 septembre).

La circulaire, comme le rapport, témoigne de tendances qui font aussi bien honneur au Gouvernement qu'aux Compagnies de chemin de fer, et nous n'avons qu'un vœu à former, c'est que l'initiative privée, désirant conserver sa liberté, comprenne de plus en plus que liberté oblige.

M. le Président annonce le décès de MM. Haass, De Pury, Blondeau et Wœstyn.

Il fait part de la nomination de M. de Griéges, comme chevalier de la Légion d'honneur.

L'ordre du jour appelle la communication de M. Morandiere sur le système de suspension de M. Delessert.

M. Morandiere donne communication d'une note sur le perfectionnement apporté par M. Delessert, dans la suspension des véhicules de chemins de fer ou de routes de terre. Cette note devant être insérée *in extenso* dans le Bulletin, il suffira de donner ici le principe de l'amélioration.

Divers moyens ont été employés jusqu'à ce jour pour rendre plus élastiques les coussins sur lesquels reposent les voyageurs : garnitures en ressorts à boudin, ressorts à lames, poires ou cônes en caoutchouc, etc... ; le résultat est de soumettre le corps du voyageur à des mouvements verticaux très considérables, auxquels les pieds ne participent pas, et il en résulte une fatigue excessive de la rotule du genou. Pour faire disparaître cet inconvénient, M. Delessert a rendu le plancher solidaire de la banquette où repose le coussin, et le tout constitue une carcasse mobile, qui est posée sur des ressorts de forme et nature quelconque, et qui joue dans l'intérieur du compartiment. De la sorte, on a réalisé une double amélio-

ration, suppression de la fatigue du genou et absence presque complète de trépidation pour les pieds.

La suspension de M. Delessert a été appliquée à plusieurs voitures de terre, par M. Quénay, ingénieur, pour le compte de la maison Binder aîné, et est à l'état d'expérience sur le chemin de fer de l'Ouest. Après un premier essai satisfaisant, l'application à plusieurs voitures a été décidée.

M. Rey demande quelle est l'augmentation de poids qui résulte par voiture de l'adaptation du système au matériel des chemins de fer.

M. Morandiere répond que la surcharge est à peine de 200 kilogrammes par compartiment de première classe.

M. Jordan ne comprend pas bien le rôle du système de M. Delessert appliqué aux voitures ordinaires, en ce qui concerne les oscillations latérales. Ce sont surtout des secousses de ce genre qui se produisent au passage des voitures sur les nombreuses voies de tramways que l'on a prodiguées à Paris.

M. Morandiere répond qu'en effet la suspension nouvelle a surtout pour but d'éviter les oscillations dans le sens vertical. Mais dans les cas que signale M. Jordan, il arrive souvent que les secousses sont obliques, et alors le dispositif Delessert est efficace pour détruire la composante verticale de l'oscillation.

M. Rey demande si dans la marche rapide le siège ainsi suspendu n'est pas exposé à venir heurter le fond de la caisse.

M. Morandiere dit, que pour prévenir cet inconvénient, on a interposé entre le siège et la paroi un bourrelet en caoutchouc ; mais que, dans les essais, les bourrelets ont été à peine frottés. Répondant à M. Régnard, il ajoute que ceux des membres de la Société qui désireraient expérimenter le nouveau système de suspension, n'auront qu'à choisir la voiture n° 737 qui circule sur la ligne de Versailles.

M. le Président, en remerciant M. Morandiere de la communication qu'il vient de faire, dit qu'il a constaté lui-même que le système de suspension de M. Delessert atténuait beaucoup les oscillations, et supprimait presque entièrement les trépidations par le plancher.

L'ordre du jour appelle la communication de M. Eiffel.

M. G. Eiffel donne lecture d'un mémoire sur le viaduc métallique de Garabit.

Ce viaduc, dont la construction vient d'être commencée, est situé sur la ligne de Marvejols à Neussargues, qui est établie par les ingénieurs de l'État, MM. Bauby, ingénieur en chef des ponts et chaussées, et Boyer, ingénieur ordinaire. Le nouveau et remarquable tracé de cette ligne, proposé par M. Boyer, traverse, dans les environs de Saint-Flour, département du Cantal, la profonde vallée de la Trueyre à une hauteur de 122 m. 50 au-dessus de l'étiage de la rivière. La largeur de la vallée est d'environ 550 mètres.

Cette traversée exigeait un ouvrage tout à fait exceptionnel pour l'étude duquel l'administration, ayant en vue l'emploi d'un grand arc analogue à celui du pont du Douro, à Porto, s'adressa à M. Eiffel constructeur de ce pont.

Le projet définitif de la partie métallique qu'il présenta aux ingénieurs fut, sur la proposition de M. l'Inspecteur général de Boisanger, adopté sans modification, en juin dernier, par le conseil général des ponts et chaussées, qui lui en confia l'exécution, tant comme maçonnerie que comme partie métallique, sans recourir à la voie de l'adjudication.

Le choix du système adopté résulte de la préoccupation que l'on a eue de ne pas notablement dépasser la hauteur des piles métalliques actuellement réalisées en France. Un excès de hauteur peut, en effet, n'être pas sans inconvénient et donner lieu, sous l'influence des vents violents, à des oscillations qui, pour un tablier d'une grande longueur, peuvent être dangereuses. — On s'est limité, pour le viaduc de Garabit, à une hauteur de 80 mètres environ, dont 62 mètres pour la partie métallique sous le tablier et 18 mètres pour le soubassement en maçonnerie.

Les piles étant ainsi obligées de remonter le long des flancs de la vallée, on a été conduit à les placer à une distance de 177 m. 72 d'axe en axe, et à disposer dans l'intervalle un grand arc de 165 mètres de corde et de 65 mètres de flèche moyenne. Cette ouverture dépasse un peu celle de l'arc du Douro qui est de 160 mètres, laquelle est la plus grande qui ait encore été réalisée.

Ce grand arc offre quatre appuis au tablier droit supérieur qui porte la voie, dont deux appuis dans le voisinage de la clef et deux autres sur des palées intermédiaires spéciales.

Le reste du viaduc comprend 5 travées de 55m,50 reposant sur des piles métalliques. Le complément de la longueur est formé par des viaducs en maçonnerie qui en constituent les abords.

En présence de la difficulté que présentait le problème du passage d'une voie ferrée à une hauteur au-dessus de la vallée qui dépasse de 40 mètres environ les plus grandes hauteurs connues, la disposition adoptée avait l'avantage de ne pas présenter de solutions complètement nouvelles ; mais au contraire de grouper des solutions dont chacune a déjà reçu la sanction de l'expérience.

Néanmoins, l'emploi de ces éléments a reçu, dans l'étude nouvelle, des améliorations d'une grande importance, dont voici les principales :

1° — *Dispositions nouvelles employées dans les piles métalliques.*

Au pont du Douro, les quatre arbalétriers des piles étaient constitués par des caissons rectangulaires complètement fermés, réunis par des entretoisements en cornière d'une faible rigidité et destinés seulement à résister à des efforts de traction. — Dans le projet actuel, les grandes faces des

piles, c'est-à-dire celles qui sont transversales au tablier et qui résistent à l'action du vent, sont constituées comme des poutres rigides à double paroi ; les arbalétriers ne comportant plus que trois faces formant une coupe en U dans l'intérieur de laquelle viennent s'insérer les entretoisements horizontaux et diagonaux, dont la forme générale est celle d'un caisson en treillis. L'avantage de cette disposition est de permettre une visite et un entretien faciles de toutes les parties tant intérieures qu'extérieures de la pile ; de plus, la forme en caisson donnée aux barres de treillis des entretoisements ne leur permet pas de flamber sous les efforts de compression, et la rigidité de la pile est considérablement augmentée par rapport aux efforts latéraux du vent.

2° — *Position de la voie dans le tablier supérieur.*

La voie, au lieu d'être placée à la partie supérieure des poutres, ainsi que cela se fait d'habitude dans les viaducs de ce genre, est placée dans la partie intermédiaire, de sorte que les poutres principales forment une solide muraille capable de maintenir les véhicules, au cas où ils sortiraient de la voie et où ils tendraient à être projetés par le vent en dehors de celle-ci, ce qui n'est pas sans exemple. Le plancher métallique en fers Zorès, impénétrable aux locomotives, placé sous la voie, forme, dans la partie intermédiaire, une sorte de paroi pleine horizontale donnant à toutes les parties du tablier une grande rigidité transversale.

3° — *Forme parabolique donnée à l'arc et rapprochement des palées intermédiaires vers la clef.*

Pour que l'arc travaille dans son entier à des efforts de compression, et que la courbe des pressions ne sorte jamais de l'arc, il est nécessaire que le tracé de la fibre moyenne se rapproche le plus possible de cette courbe. C'est ce qui a fait adopter pour fibre moyenne une parabole du 2e degré, de manière à avoir près des reins une très faible courbure, et c'est aussi ce qui a conduit à rapprocher autant que possible de la clef, les palées intermédiaires par lesquelles le tablier supérieur s'appuie sur l'arc.

4° — *Coupure des tabliers horizontaux au droit des palées de l'arc.*

Cette disposition, qui interrompt au droit des palées de l'arc la continuité des tabliers, a pour but de supprimer le surcroît de fatigue que produisaient, dans les poutres continues, les déplacements verticaux des palées par l'effet des charges dissymétriques. Ces déplacements ne s'exercent plus sur la partie intermédiaire des poutres, mais seulement sur leur extrémité, où l'on sait qu'ils ont peu d'influence.

5° — *Liaison du tablier central avec l'arc et les palées.*

La faible distance qui sépare les palées a permis de les attacher au tablier central, de sorte que celui-ci, les deux palées et la clef de l'arc forment un tout qui se trouve en quelque sorte solidifié, grâce à la raideur empruntée au tablier droit qui arme cette clef. Cette disposition doit donner à l'arc une très grande rigidité, et il peut être assimilé, dans son ensemble, à une poutre armée formant une clef à peu près indéformable liée à deux contrefiches constituant des supports à peu près rectilignes, peu susceptibles eux-mêmes de déformation.

Dimensions principales.

Les principales dimensions de cet ouvrage sont les suivantes :

Longueur totale du viaduc.	552^m,77
Longueur totale de la partie métallique.	448, 30
Comprenant :	
Le tablier Marvejols (2 travées de 51^m,80 et 3 de 55^m,50). . .	270, 44
Le tablier central entre les deux palées de l'arc (3 travées égales de 24^m,64).	73, 92
Le tablier Neussargues (2 travées égales de 51^m,80).	103, 94

La poutre droite, à treillis simple à croix de Saint-André, a une hauteur de 5^m,16. La voie est placée à 1^m,66 au-dessous des semelles supérieures.

Les grandes piles voisines de l'arc sont à six étages et ont une hauteur de partie métallique de 61^m,16. Leur largeur à la base est de 15 mètres et au sommet de 5 mètres, soit un fruit de 0^m,082 par mètre. Dans le sens de la petite face parallèle au tablier, la largeur à la base est de 7 mètres et au sommet de 2^m,33.

La grande arche présente une corde de 165 mètres de longueur. La flèche d'intrados est de 60 mètres et la hauteur à la clef de 10 mètres. Elle se compose de deux fermes principales en treillis, placées symétriquement, par rapport au plan médian de l'arche, dans des plans obliques à ce dernier; il en résulte que leur écartement, qui est de 20 mètres aux naissances, va en diminuant à mesure qu'on se rapproche de la clef, où il n'est plus que de 6^m,25 mesuré à l'extrados. Le fruit des plans des fermes est de 0^m,089 par mètre, par rapport à la verticale. Cette disposition a pour effet de donner une grande stabilité à l'arche et de lui permettre de résister à l'effort de vents violents.

Les fermes principales affectent la forme d'un croissant dont la fibre moyenne est une parabole; elles présentent une grande hauteur à la clef et se terminent en pointe à chaque naissance, où elles s'appuient sur les retombées par l'intermédiaire de rotules.

Calcul des différentes parties de l'ouvrage.

Tout l'ouvrage a été calculé pour un travail de 6 kilogrammes, sous l'effet combiné des charges et du vent. Celui-ci a été supposé de 150 kilogrammes par mètre carré pendant la circulation des trains, et de 270 kilogrammes en dehors de toute circulation, laquelle serait impossible sous un tel vent. L'action de la température, très faible du reste, n'a pas été ajoutée à l'effet du vent.

Les calculs relatifs aux poussées et aux coefficients de travail, sous l'effet des charges, ne présentent rien de particulier. Ceux, au contraire, relatifs au vent sont tout autres que ceux appliqués par nous au Douro et déjà publiés. Nous avons serré ces calculs de beaucoup plus près et nous avons cherché à obtenir la plus grande rigueur théorique possible. L'étude des déformations de l'arc est également nouvelle; nous l'avons établie par les procédés de la statique graphique, de manière à éviter les cubatures de volumes assez laborieuses, auxquelles on était conduit dans la première méthode, et à les remplacer par le simple tracé de lignes, qui donnent immédiatement la vraie grandeur de toutes les déformations.

En comparant l'influence respective des charges et du vent sur les coefficients de travail, on arrive à ce résultat remarquable que, d'une manière générale, on peut regarder pratiquement les membrures de l'arc comme travaillant :

A 2 kilogrammes sous le poids propre,
2 — sous l'effet des surcharges seules,
2 — sous l'effet du vent.

La considération du vent augmente donc de moitié la section des membrures calculées avec la seule considération des surcharges.

Pour le treillis de l'arc, on peut également dire, d'une manière générale, qu'il travaille :

A 1 kilogramme sous la charge permanente,
1 — sous la surcharge,
A 3 kilogrammes sous l'effet du vent seul.

C'est donc surtout sur le treillis que le vent a une grande influence, et sa considération oblige à augmenter dans le rapport de 5 à 2 les sections qui résultent des charges seules.

Poids et prix de l'ouvrage.

Le poids total de cet ouvrage s'élèvera à 3,200 tonnes environ et son prix, toutes maçonneries comprises, est évalué à 3,100,000 francs; ce qui donne par mètre courant de viaduc 5,595 francs, et environ 80 francs par mètre superficiel en élévation.

M. Dallot demande quels sont les efforts développés par la température sur le grand arc.

M. Eiffel répond que, dans les arcs très surélevés, ces efforts sont faibles. Le maximum qui a lieu à la clef est, pour l'arc de Garabit, de $0^k,63$ par millimètre carré pour une variation de température de 30 degrés. Il ajoute à cette occasion que M. le professeur Weyrauch, dont l'autorité est considérable en Allemagne, a publié il y a quelque temps, dans le *Zeitschrift für Baukunde*, un article très intéressant et très complet sur le pont du Douro. Comme le mémoire qu'il a eu sous les yeux ne mentionne pas les effets de la température, M. le professeur Weyrauch suppose à tort « que cela ne peut provenir que de l'ignorance des publications étrangères. » Il est juste cependant d'ajouter qu'il parle très élogieusement de cet ouvrage qui, suivant son opinion, est grandiose, solide, peu cher et beau. Il termine en constatant : « que l'ingénieur français a du goût et sait calculer. »

M. le Président remercie M. Eiffel de son intéressante communication. Il ajoute que le projet de cet ouvrage d'art gigantesque fait le plus grand honneur à M. Eiffel et au génie civil. L'accueil que ce projet a reçu du ministère et du conseil des ponts et chaussées est des plus honorables pour son auteur.

L'ordre du jour appelle la communication de M. Quéruel sur les machines motrices.

M. Quéruel s'exprime comme suit :

J'avais eu d'abord l'intention, Messieurs, de vous entretenir des machines qui figuraient à l'Exposition de 1878 ; j'y ai renoncé ; ce serait aujourd'hui tout à fait hors de saison. Tout le monde connaît ces machines. Je vous communiquerai seulement les analyses que j'ai pu faire sur quelques-unes d'entre elles ; je ne ferai que citer les principaux appareils, ce sont les types les plus courants. Vous avez pu remarquer que la tendance des constructeurs a été l'utilisation ; c'est le point capital.

Parmi les différents systèmes, j'ai cru qu'il convenait de parler principalement des machines nouvelles. Je citerai en premier lieu le système Corliss, importé par M. Le Gavrian, les machines Sulzer, les machines Farcot et celles de MM. Weyher et Richemond, sur lesquelles nous avons un rapport fait à la Société industrielle de Mulhouse. Dans ces différentes machines j'ai étudié, au moyen des diagrammes qui m'ont été remis, la marche de la vapeur, et j'ai reconnu que, dans les appareils à un seul cylindre, il y avait une évaporation assez considérable ; il y a là un fait qui limite nécessairement les bénéfices de la détente, qui ne peut être poussée trop loin dans les machines à un seul cylindre.

Voici, par rang de consommation la liste de six analyses :

Nos	CONSTRUCTEURS.	SYSTÈMES.	DÉPENSE DE VAPEUR par heure et par cheval indiqué.
1	Sâtre et Averly.......	Sulzer, 1 cylindre.........	6k,465
2	Le Gavrian..........	Corliss, 1 cylindre........	6 ,848
3	Duvergier...........	A tiroirs plats, 1 cylindre...	6 ,907
4	Bède et Farcot.......	A tiroirs cylindriques, 1 cyl.	7 ,148
5	Weyher et Richemond..	Manivelles à 90°, 2 cylindres.	7 ,608
6	Sulzer frères.........	A soupapes, 2 cylindres....	7 ,680

J'ai eu l'occasion de constater un fait intéressant, celui de pouvoir déterminer la quantité d'eau ou poids de vapeur, par les diagrammes qu'on m'a donnés à analyser ; dans la machine Sulzer, à 2 cylindres, l'eau pesée a été, par heure, à 477k50 ; le calcul des diagrammes donne 473k15. La machine Duvergier, à un seul cylindre, a dépensé en eau pesée 537k68, et le calcul donne 533k98. On peut donc, de ces deux expériences, conclure qu'il n'y a pas un grand écart entre les poids de vapeur calculés et ceux qui résultent de la pesée.

Dans le rapport d'expériences de. M. Walter Meunier sur la machine Weyher et Richemond, la part d'eau entraînée est de 4 pour 100. Or, le calcul des diagrammes donne 14 pour 100 d'eau entraînée. Cette différence de 10 pour 100 engendre une autre erreur. Le rapport fixe la dépense en calories par seconde à 105c419
tandis qu'elle n'est, d'après les diagrammes, que 93c165

Différence. 12c254

La chaleur retrouvée au condenseur étant 91c809, ne donne que 93,165 moins 91,809 soit : 1,356 pour équivalent mécanique au lieu de 13,610, attribuées arbitrairement par le rapport. Il y a là un fait anormal qui aurait besoin d'être éclairci.

M. Quéruel borne là sa communication.

M. le Président, en remerciant M. Quéruel, fait remarquer qu'il était bon de dire quelques mots des machines motrices de l'Exposition : il y a eu là une Commission nommée dont M. Quéruel a fait partie, et qui n'a pas déposé de rapport.

Il serait trop tard pour le faire maintenant et ceux des membres de la Société qui voudraient entrer dans plus de détails, en trouveront dans rapport déposé aux Archives par M. Quéruel.

La séance est levée à dix heures un quart.

MM. Jullien, Vallot et Watel ont été reçus comme membres sociétaires.

Séance du 15 Octobre 1880.

PRÉSIDENCE DE M. GOTTSCHALK.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 1er octobre est adopté sous réserve de quelques rectifications qui seront faites dans la publication au Bulletin mensuel.

M. le PRÉSIDENT annonce la nomination de M. Auderut comme chevalier de la couronne d'Italie.

Il est donné lecture d'une lettre de M. de Coëne sur les odeurs de Paris. Ce sujet étant plein d'actualité, M. le Président propose de la publier *in extenso* dans le procès-verbal d'autant qu'une communication sur le même sujet devra être faite dans la prochaine séance par M. Faure-Beaulieu.

M. de Coëne écrit ce qui suit :

MONSIEUR LE PRÉSIDENT,

L'opinion publique se préoccupe en ce moment des odeurs dont les rues de Paris ont été infectées depuis quelques mois.

Permettez-moi d'appeler l'attention des membres de la Société sur le rapport du conseil d'hygiène du département de la Seine et sur celui de M. le directeur des travaux de Paris, rapports insérés à l'*Officiel* du 8 octobre.

J'ai pensé que notre Société ne pouvait rester indifférente, et qu'il y avait intérêt pour elle à se mêler au grand débat qui est ouvert.

Dans nos Bulletins, à diverses époques, on trouve la trace des travaux de membres de notre Société, sur la question des eaux de Paris. Les travaux de M. Faure : une *Étude sur l'élévation des eaux puisées dans la Seine à Ivry*, trouve aujourd'hui son application après avoir été combattue par l'administration municipale, en 1854. — Voir rapport officiel du 4 août 1854, eaux de Paris.

On parle de nouveau d'un projet qui avait aussi alors été écarté, la dérivation de 10 mètres cubes pris à la Loire.

J'ai tenu à rappeler ces souvenirs pour faire voir que notre Société s'était déjà préoccupée des questions d'alimentation. Aujourd'hui il s'agit d'une autre solution à trouver, c'est le moyen de supprimer les mauvaises odeurs.

Or, en examinant les deux rapports que j'ai signalés et qui renferment des renseignements très précieux et très intéressants, on peut regretter que ces rapports aient été faits en termes trop généraux, qu'ils n'aient pas assez abordé la question par les détails, détails qui eussent servi à faire voir les inconvénients que l'on avait à combattre.

Les odeurs viennent, à n'en pas douter, des liquides de toutes sortes : urines, eaux ménagères qui coulent des maisons dans les égouts et qui, étant imparfaitement dilués, produisent les gaz infectueux dont on se plaint.

Ajouter à ces eaux sales de toutes espèces et de toutes provenances une quantité d'eau suffisante, paraît être le remède le plus efficace.

On trouve la preuve de l'utilité de ce moyen dans les résultats que l'on obtient à Londres où la délégation du conseil municipal de Paris, envoyée pour examiner les dispositions employées, n'a constaté aucun des inconvénients reprochés à nos égouts parisiens.

Or, si les égouts ne donnent pas d'odeurs désagréables à Londres, s'ils n'en donnent pas à Bruxelles, il y a une cause, et la cause c'est que toutes les eaux fournies par la ville de Bruxelles ou par les diverses compagnies des eaux de Londres passent par le foyer où les eaux infectes se produisent, c'est-à-dire par la maison, par le cabinet d'aisances, par la cuisine, par la cour.

A Londres on ne fait pas couler d'eau dans les rues, il est vrai que les ruisseaux ne communiquent pas avec les maisons, qui sont toutes en communication directe avec l'égout.

A Paris maintenant, à très peu d'exceptions près, il ne coule plus d'eau sale sur la voie publique et cependant nous y faisons couler des torrents d'eau, dans le jour, sans profit pour la dilution des liquides infectueux produits dans les habitations ; aussi ces liquides s'écoulent-ils presque purs dans les égouts.

Il faudrait, à mon avis, mettre tout en œuvre pour augmenter, dans d'énormes proportions, la consommation de l'eau dans les appartements, dans les logements, non pas seulement dans les latrines, mais encore sur la pierre d'évier, dans les écuries, dans les cours, partout où il y a des eaux sales, qui sont la cause de l'infection des égouts. La description de ce qui se passe en ce moment démontre combien on combat mal ces germes de mauvaises odeurs.

Les eaux ménagères, les eaux sales sont produites surtout dans les maisons à la chute du jour, après le dîner ; c'est à ce moment qu'il s'en écoule le plus à l'égout.

Ces eaux grasses, chaudes quelquefois, viennent enduire la surface des égouts d'une couche de matières éminemment fermentescibles, qui sont enlevées difficilement par l'eau. Or, à ce moment, depuis la chute du jour jusqu'au matin, il ne coule pas une goutte d'eau des bouches sous trottoir ; aussi les liquides, en fermentation, produisent-ils le soir et la nuit surtout les odeurs qui sont signalées.

Il me paraît donc que le problème, tel qu'il est résolu à Paris, devrait

être retourné, c'est-à-dire que l'on devrait faire écouler moins d'eau dans le ruisseau de la voie publique qui n'est pas sali, et que l'on devrait faire couler la plus grande partie par l'intérieur des maisons, pour diluer au fur et à mesure qu'elles se produisent, les eaux sales qui y sont formées.

Il faut provoquer un abondant usage de l'eau, non pas seulement dans les latrines, mais sur les pierres d'évier.

Quelle quantité d'eau faut-il faire passer par les maisons? Les rapports n'en parlent pas. Cette quantité aurait pu être calculée, et voici comment :

Il y a à Paris deux millions d'habitants produisant, d'après des constatations faites par plusieurs savants, un litre de matière solide et liquide par habitant, enfants compris, soit deux millions de litres. Or, en les mêlant avec cinquante fois leur poids d'eau, on peut les rendre inoffensifs, il faudrait donc 100,000 mètres cubes d'eau, pour enlever toute odeur provenant des cabinets.

Pour les autres matières impures, 150,000 ou 200,000 mètres cubes suffiraient, de sorte que 350,000 mètres passant par les maisons auraient raison des odeurs. Or, on vend à Paris, pour la consommation domestique, 70,000 mètres cubes environ. Il en faudrait donc vendre cinq fois plus.

C'est là, il me paraît, la véritable solution à appliquer pour supprimer les mauvaises odeurs. Amener à Paris un million de mètres cubes ne remédiera à rien si 300 à 350,000 mètres ne passent par les maisons en les lavant de haut en bas, en passant par tous les logements petits ou grands, riches ou pauvres, nous le répétons, nous administrons la preuve de ce fait dans ce qui se passe à Bruxelles ou à Londres.

Il y a enfin une partie de ces graves questions, l'alimentation des villes en eau et l'écoulement des eaux-vannes, qui touchent plus particulièrement à notre art d'ingénieur.

C'est la comparaison entre les travaux de Londres et de Paris.

A Londres des machines à vapeur élèvent l'eau dans des réservoirs, d'où elle est conduite dans les maisons qu'elle lave de fond en comble.

Il n'en coule pas dans les ruisseaux des rues.

Cette eau, dans son passage à travers la maison, se charge de toutes les impuretés qu'elle véhicule dans l'égout sans toucher le sol.

Elle se réunit dans un grand collecteur, mais là ne s'est pas arrêté le projet de M. Bazalgett, au débouché du grand émissaire de Londres, — le cloaca maxima — il a établi des machines de 3 à 4,000 chevaux qui relèvent les eaux-vannes dans des réservoirs d'où elles s'échappent soit à la mer, soit sur une grande grève de sable que l'on se propose de livrer à la culture.

A Paris notre alimention est mixte, tantôt l'eau est prise à l'aval de Paris dans la Seine, tantôt à la Marne et relevée par machines, tantôt elle est amenée par des dérivations, dont la fragilité est constatée par M. le directeur des travaux, puisque, sous l'influence des chaleurs de l'été, il se produit des ruptures qui amènent l'arrêt de la dérivation au moment où l'eau est le plus utile.

Nous voudrions voir quelles précautions on se propose de prendre pour éviter et prévenir ces graves accidents.

L'eau amenée à Paris par ces divers moyens s'écoule, pour la plus grande partie, le jour à la surface de la rue en dehors des maisons.

Elle se rend à l'égout presque pure, sans avoir servi au lavage de l'intérieur des maisons comme on le fait à Londres.

Cette eau, arrivant par intermittence à l'égout, se mêle plus ou moins parfaitement et dans des proportions très irrégulières avec les eaux infectes; ce mélange se rend à l'égout collecteur puis à la Seine, dont il encombre le lit et corrompt l'eau sur près de 80 kilomètres, jusqu'à ce que, sous l'action de l'oxygène de l'air, toutes les impuretés soient décomposées. A Mantes les eaux de la Seine sont devenues pures et limpides. Que doit-on prendre dans la méthode anglaise, que doit-on prendre dans la méthode française? Il est évident qu'il y a de précieux enseignements à tirer de la comparaison des deux systèmes en tenant compte des habitudes et du climat.

Jusqu'à présent, en France, nos distributions ressemblent trop à celles des villes antiques du Midi de l'ancienne Rome, où l'on se préoccupait surtout d'alimenter la fontaine publique, les rues; l'usage de l'eau dans des maisons sans étage était très limité.

La méthode anglaise paraît mieux assouplie aux exigences de la vie moderne, tout en permettant de mieux utiliser les eaux-vannes dont la composition est plus régulière.

La cause véritable de l'état signalé n'est donc pas due à l'insuffisance des eaux mises à la disposition du public, elle est due à une répartition défectueuse.

Loin de moi l'idée de méconnaître le charme extrême que présentent à la vue l'eau coulant pure et limpide dans les rues, les nombreuses fontaines dont Paris est orné comme l'ancienne Rome.

Mais, à mon avis, c'est un surcroît; l'important c'est que l'eau aille combattre le foyer d'infection là où il se produit. Et je me demande si, imitant l'Angleterre, il n'y aurait pas lieu d'imposer par une loi pour le bien de tous que l'eau coule abondamment non seulement dans les cabinets, mais dans toutes les cuisines, etc., et s'il n'y aurait pas lieu d'abaisser considérablement le prix de l'eau qui est à un tarif élevé à Paris. Alors, et alors seulement, les eaux polluées convenablement étendues n'auront plus les odeurs dont nous souffrons.

Il y a dans une pareille étude, M. le Président, un ensemble de faits d'un haut intérêt et sur lesquels je me permets d'appeler l'attention de certains de nos Collègues qui pourront, par leur compétence spéciale, indiquer une méthode exempte de tout inconvénient.

J'ai l'honneur de vous demander qu'une discussion soit ouverte pour chercher le moyen le meilleur pour assurer le bien-être, la santé dans une ville comme Paris, où les questions d'alimentation d'eau, d'écoulement des eaux-vannes présentent de grandes difficultés d'application.

Veuillez agréer, M. le Président, etc. De Coene.

L'ordre du jour appelle la communication de M. Hersent sur les nouvelles méthodes de dérochement.

M. Hersent fait en quelques mots l'historique des travaux de dérochement. Il rappelle les tentatives qu'il connaît et fait ressortir la nécessité de dérocher, qui s'impose de plus en plus à mesure que la navigation se développe.

Il cite la machine à soufflets construite sur les dessins de M. Coulomb de Rouen au siècle dernier.

Il parle de la cloche en fonte du port de Rouen qui fut une curiosité il y a 50 ans.

Il cite la cloche construite par M. Cavé en 1840 et les essais de dérochement faits par le docteur Payerne à Cherbourg vers 1852, au moyen d'un appareil plongeur en tôle qui remontait à la surface pour décharger les produits du travail fait en bas.

Il cite encore les dérochements exécutés au port du Croisic, par M. l'ingénieur en chef de la Gournerie et parle du dérochement exécuté à l'avant-port de Boulogne-sur-Mer, au moyen du dragage, parce que la roche était par couches divisées par des lits d'argile, qui ont permis de soulever les pierres et de les extraire soit avec les godets, soit avec les crochets de la drague, soit même avec des griffes spéciales.

A ce propos il rappelle que les griffes ont été très utilisées par les Américains, qui s'en sont habilement servis pour nettoyer leurs grands fleuves.

La cloche employée à Brest a été étudiée par M. Hersent avec le concours de M. Castor, vers 1866, après l'exécution à Brest d'un batardeau pour la construction du bassin n° 5, lequel traversa le rocher des deux bouts sur plus de 10 mètres de hauteur.

Alors le dérochement de la roche la Rose était très nécessaire, déjà MM. les ingénieurs des travaux hydrauliques en avaient extrait plus de 3000 mètres cubes, au moyen de touques remplies de poudre et tirées sous l'eau au moment de pleine mer en vive eau. Les morceaux détachés étaient enlevés par les plongeurs au scaphandre.

A ce sujet, M. Hersent établit un parallèle entre les divers moyens d'extraire des roches sous l'eau, et fait ressortir que le travail au scaphandre est trop peu productif lorsqu'il s'agit de grandes quantités.

Il parle du procédé employé par les Américains pour extraire une roche dans l'Hudson, près New-York, et rappelle à ce sujet qu'à son premier voyage à Brest, en 1860, il a vu démolir un batardeau au moyen de galeries creusées au-dessous du niveau à déraser, comme l'auraient pratiqué les ingénieurs américains avec succès.

A la suite de cette digression, M. Hersent explique comment on aurait pratiqué l'extraction de la roche la Rose, au moyen du procédé par galerie, qui aurait nécessité d'abord la construction d'un puits près du quai.

La roche « la Rose » est un mamelon rocheux qui avance de 60 mètres environ dans le chenal, en face du château, à l'entrée du port, et oblige les embarcations à faire une évolution de 90° pour passer.

Cette roche est composée de schiste mêlé de filons de quartz de 5 à 50 centimètres d'épaisseur, et devient au sud un gneiss granitique des plus durs. Le clivage est très incliné du sud au nord.

Le volume à extraire pour déraser la roche, jusqu'à 7m,40 sous zéro, est d'environ 12000 mètres cubes.

Le marché fait avec l'administration de la marine comporte en outre un dérochement d'environ 5,600 mètres cubes devant l'entrée du bassin n° 5, ce qui forme un ensemble d'environ 17,600 mètres cubes de roche à extraire.

M. Hersent explique que le dérochement exécuté à la cloche présente cet avantage de ne point toucher d'autre rocher que celui qu'on doit extraire.

M. Hersent fait ici la description de la cloche de 80 mètres de surface qui est rectangulaire; 10 mètres de longueur et 8 mètres de largeur et dont les plans seront joints au prochain Bulletin. La caisse principale a 7 mètres de hauteur et est divisée horizontalement à 2 mètres du bas. La partie inférieure est la chambre de travail et la partie supérieure, le flotteur. Le poids de l'appareil à flot est environ 330 tonnes. Le déplacement permet au plafond du flotteur d'émerger de 1m,50 environ au-dessus de l'eau. Le lest est aussi bas que possible pour renforcer le plafond et augmenter la stabilité.

M. Hersent définit les moyens de sécurité pour empêcher que la cloche ne se soulève pendant le travail.

Explique le jeu des écluses inférieures qui permettent de communiquer de l'extérieur à l'intérieur; la disposition de la grande cheminée du milieu qui contient un escalier tournant, ce qui vaut beaucoup mieux que les échelles, etc. Pour atteindre les différentes profondeurs, la cheminée se démonte par anneaux de 10 mètres à 20 mètres avec les escaliers, de sorte que, si l'on n'est pas assez haut, il suffit d'ajouter un ou plusieurs anneaux. Pour l'extraction des déblais il y a deux cheminées séparées, auxquelles on avait d'abord appliqué une écluse sans fin consistant en plateaux garnis de caoutchouc qui s'adaptaient exactement aux parois de la cheminée. On n'eut pas assez de temps pour étudier cette écluse à fond, dont il résultait des inconvénients qui firent revenir à l'ancienne écluse avec les sas en haut. Les déblais se montent par un treuil et sont versés dans deux petits sas qui se déversent sur un plancher situé en dessous.

On a beaucoup craint les efforts qu'aurait à subir le tranchant, quand la cloche ne s'appuie que sur un point, et il est vrai que le fer peut supporter sur un mètre de longueur jusqu'à 150 tonnes sans être détérioré.

Après cette description, M. Hersent passe au récit de la manière de procéder avec la cloche. L'équilibre pendant l'immersion est établi par les chaînes qui se tiennent sur la plate-forme et se déplacent suivant l'inclinaison de la cloche, c'est ainsi qu'on arrive à 20 centimètres près à l'emplacement voulu. Le temps qu'il faut pour cette opération est environ 10 minutes. Une fois que la cloche touche le fond, la première chose à faire

c'est de dégager le tranchant à une profondeur de 20 centimètres et de faire un bon joint avec de l'argile ; une fois ce joint fait, on enlève tout le rocher jusqu'à 30 centimètres de profondeur et l'on recommence la même opération; dans une position on enlève une couche de 1^m,20. Quelquefois en posant la cloche sur un terrain inégal, de grands trous sont à fermer sous le tranchant. On emploie des sacs de sable et de l'argile pour boucher et permettre de refouler l'eau, puis on peut travailler à l'extraction.

Quand la couche de 1^m,20 est enlevée, l'on prend un second emplacement en le choisissant de manière à ce qu'on arrive à faire une tranchée de 1^m,20 de profondeur et à ce qu'il reste entre la 1re et la 2e position la place pour un 3e emplacement, où on n'aura besoin de dégager le tranchant que sur deux côtés. Cette manière de procéder a aussi déterminé la forme rectangulaire du caisson, parce que c'est avec cette forme que l'outil fait tout le travail qu'il est susceptible de faire. Il va sans dire qu'on choisit la seconde tranchée de manière à laisser une bande de rocher de la largeur de la cloche entre elle et la première.

Quant à l'installation des machines soufflantes pour l'air comprimé, il était possible, dans ce cas spécial, de les établir à terre, en conduisant l'air par des tuyaux flottants.

Après ces descriptions, M. Hersent donne quelques indications sur le travail en général.

Le total des dérochements à opérer est de 17,600 mètres cubes à Brest, et de 30 000 mètres cubes à Cherbourg. Le prix de revient est de 62 fr. 50 par mètre cube. Le travail dans l'air comprimé se fait sans le moindre inconvénient jusqu'à 20 mètres de profondeur, à la lumière électrique, qui a fourni de très bons résultats.

Quant à la matière explosive qui est employée pour faire sauter le rocher, M. Hersent emploie le *fulmi-coton*, qui ne produit pas de gaz nitreux comme la dynamite, ni de fumée comme la poudre, avantages qui font disparaître le prix un peu plus élevé de cette matière. On emploie environ 400 grammes de fulmi-coton par mètre cube de déblais.

Quant à la dimension des cloches, M. Hersent fait remarquer qu'il en emploie de 20, 80 et 120 mètres carrés de surface, et que ce sont les plus grandes les plus profitables, mais qu'en certains cas, il fallait employer la petite afin de faire de la place pour les grandes. Maintenant que l'épreuve est faite, il est permis de constater que ce nouvel engin l'a bravée vaillamment et qu'il y a là un véritable progrès dans la manière de procéder dans les travaux sous-marins.

Après une discussion à laquelle ont pris part MM. Mathieu, Brüll, de Serres et Badois, et qui a amené de la part de M. Hersent des réponses dont il a été tenu compte dans la rédaction du procès-verbal, M. le Président remercie M. Hersent pour son intéressante communication. Il rappelle à ses Collègues, que M. Hersent est un de ceux qui font le plus grand honneur au génie civil, aussi bien en France qu'à l'étranger où M. Hersent,

après avoir exécuté les grands travaux de la rectification du Danube, exécute en ce moment ceux des quais et bassins d'Anvers.

M. le Président exprime l'espoir que M. Hersent voudra bien entretenir la Société de ces derniers et remarquables travaux.

M. Hersent répond que cela fera l'objet d'une communication spéciale; en attendant, et à propos de l'accident signalé dans la chronique du dernier Bulletin et arrivé au tunnel sous l'Hudson, destiné à relier New-York à Jersey-City; il consent à dire de suite quelques mots sur un travail analogue de tunnel, exécuté à Anvers au moyen de l'air comprimé (entreprise Couvreux et Hersent).

M. Hersent rappelle les incidents récents qui ont accompagné la construction du tunnel sous-marin de New-York.

Il fait sur le tableau un croquis indiquant les dispositions générales d'une galerie de communication exécutée à Anvers, pour amener aux machines d'épuisement établies les eaux des trois nouveaux bassins de radoub en construction.

Il s'agissait de pratiquer une galerie à $9^{m},50$ de profondeur au-dessous du niveau des eaux des bassins, tout voisins, dans un sol de sable mouillé.

Le moyen employé a consisté à faire un puits, dans un caisson métallique, foncé une partie à l'air libre, une partie à l'air comprimé. Ce puits, de $2^{m},50$ de diamètre intérieur et $3^{m},70$ extérieurement, a été descendu à $12^{m},35$ de profondeur avec une maçonnerie, et on lui a fait un radier au fond.

Ainsi préparé, le puits était couvert d'un plateau métallique portant une écluse à air pour les communications, et l'ouverture de la galerie était préparée à l'avance.

La construction de la galerie a consisté dans le déblai du sol, tenu blindé au moyen de l'air comprimé, et la pose successive d'anneaux en fonte composés de quatre pièces boulonnées entre elles et aux parties adjacentes.

Le sol déblayé a été extrait au moyen de l'écluse à air comprimé, la même écluse a permis l'introduction des pièces de fonte et des accessoires.

Le déblai a été fait à l'avancement, assez grand pour permettre le montage des caissons en fonte, après quoi on a bourré avec soin les espaces restés libres, en ayant soin de mettre de l'argile délayée au plafond pour éviter le passage de l'air comprimé, et de ne pas laisser la pression de *l'air comprimé dépasser la pression strictement utile* pour chasser l'eau.

Pendant l'exécution de ce travail, la machine à vapeur de compression eut besoin d'une réparation, et l'eau avec le sable auraient envahi toute la galerie et le puits, si on n'eût eu la précaution de faire une fermeture provisoire dans les tubes en fonte.

M. Hersent croit que cet essai est le premier exécuté dans un terrain mouillé, au moyen de l'air comprimé.

M. le Président remercie M. Hersent pour cette communication pleine

d'actualité et prend bonne note de sa promesse d'entretenir la Société de ses travaux d'Anvers et de Toulon.

M. Gautier donne, sur l'*exposition régionale de Dusseldorf*, les renseignements suivants :

La Prusse Rhénane représente 40 à 50 pour 100 de toute l'industrie de l'Allemagne, et la métallurgie y est surtout très développée.

Sur 2562 exposants, les *mines* étaient représentées à Dusseldorf par 86 expositions, dont quelques-unes étaient collectives (Siegen, Wetzla r, etc.) et correspondaient à de nombreuses exploitations.

Les *usines métallurgiques* se répartissaient entre deux séries : la *métallurgie* proprement dite, comprenant 44 usines ou groupes d'usines et l'*industrie métallique* correspondant à 348 usines élaborant les métaux d'une manière plus ou moins complète.

Les *conditions générales de l'industrie métallurgique dans le bassin de la Ruhr* demandent un examen spécial :

Les *chemins de fer* y sont très répandus et la plupart des usines sont reliées à trois lignes concurrentes, dont les réseaux s'enchevêtrent ou se suivent parallèlement. Les matières premières sont transportées au *pfennig-tarif*, c'est-à-dire à 3 centimes 1/3 par tonne et par kilomètre, et dans certains cas d'importation et d'exportation, le tarif descend au-dessous de 2 *centimes*.

Les *voies navigables* sont peu développées, cependant il se fait quelques transports par le Rhin et quelques-uns de ses affluents, la Ruhr, la Lippe et la Lahn.

La *main-d'œuvre* n'est ni plus élevée ni plus basse que chez nous et elle est assez abondante.

Mais ce qui caractérise surtout l'industrie de cette région, c'est la richesse en *combustible* de première qualité.

Le bassin de la Ruhr, dont l'exploitation n'a pris une grande activité que depuis 1870, atteint actuellement une production de 22 millions de tonnes malgré tous les efforts pour limiter l'extraction et empêcher l'avilissement des prix. En vain s'est-il formé un syndicat de la majorité des extracteurs, où chacun, sous peine d'amende, a consenti à être taxé à tant de tonnes par puits, la richesse minérale déborde de toutes parts et ne trouve pas dans l'exportation un aliment suffisant.

On y rencontre surtout des charbons à coke et à gaz, de première qualité. Les usines métallurgiques les plus importantes sont toutes propriétaires de mines et elles peuvent avoir en tout temps, à l'abri des fluctuations du marché charbonnier, des *houilles tout-venant, au-dessous de 5 francs la tonne et des cokes à 5 pour 100 de cendres, au-dessous de 10 francs.*

Comme *minerais*, la situation n'est pas aussi brillante ; mais, de ce que, jusqu'à ces derniers temps, les fontes Bessemer et les fontes de moulage

arrivaient d'Angleterre et inondaient ce pays, il n'en faut pas conclure que les minerais y sont rares.

On a extrait de cette partie de l'Allemagne, en 1878, 2.176.000 tonnes de minerais de fer et on en a importé de 2 à 300.000 tonnes seulement.

Les minerais non phosphoreux sont rares ou trop manganésifères pour fontes Bessemer; aussi, est-ce le pays des spiegeleisen ou fontes spéculaires, que personne n'a pu produire jusqu'ici à aussi bon marché.

Une des curiosités de l'exposition de Dusseldorf, c'était la *préparation mécanique des minerais de fer du Nassau.*

On ne connaissait, jusqu'à présent, que le *débourbage* des minerais argileux; ici nous sommes en présence d'une préparation savante, broyage, criblage, lavage avec caisses de dépôt, etc. On traite ainsi des minerais quartzeux, dont la richesse en fer passe de 28 à 60 pour 100, tandis que la teneur descend, pour le quartz, de 22 à 6 pour 100 et, pour les autres matières terreuses, de 19 à 2 pour 100.

Il reste à savoir comment les hauts fourneaux s'accommodent de cette matière pulvérulente qu'on ne pense nullement à agglomérer. Quant aux frais, ils semblent ne pas devoir dépasser 5 à 6 francs par tonne obtenue, d'après les renseignements officiels qui m'ont été communiqués par l'inspecteur des mines de Dillenbourg.

On produit dans la Ruhr et dans le pays de Siegen toutes les qualités de fontes : *supérieure pour affinage*, avec 5 pour 100 de manganèse; *inférieure pour affinage*, avec phosphore et manganèse; *spiegeleisen*, ayant 10 à 25 pour 100 de manganèse et obtenu avec les carbonates de fer et de manganèse de Siegen; *fontes Bessemer*, qui sont caractérisées par une teneur élevée en silicium et en manganèse tout à la fois, et qui donnent lieu à des opérations très chaudes, mais assez difficiles à conduire. Le silicium provient d'un minerai siliceux et alumineux spécial, celui de Schwelm, que l'on retrouve dans tous les lits de fusion pour Bessemer.

La *fonte Thomas* est peu produite directement au fourneau, on la réalise par un mélange de fonte blanche du Luxembourg, et de fonte d'Ilsède. Cette dernière mérite une mention spéciale, elle renferme 3 pour 100 de phosphore et tout autant de manganèse; on l'obtient près de Brunswick, au pied du Harz; et, quoique faite avec du coke de la Ruhr, son prix de revient est au-dessous de 32 francs; on la paie, à Dortmund, 50 à 55 francs la tonne, et il s'en fait plus de 80000 tonnes dans de grands fourneaux produisant jusqu'à 120 tonnes par 24 heures.

Cette fonte d'Ilsède, si économique, a discrédité le *ferrophosphore* ou fonte à 20 pour 100 de phosphore, que l'on obtenait par le traitement des scories Thomas et des phosphates terreux au haut fourneau.

La *fonte de moulage* se réussit très bien dans la Ruhr. Des expériences officielles sur les produits de 6 usines importantes ont fait sortir l'opinion de sa routine, et l'importation anglaise diminue de jour en jour. Les fontes de Westphalie sont aussi bonnes que les fontes d'Écosse et bien supérieures à celles du Cleveland.

Depuis 1877, *Gutehoffnungshutte*, puis *Phœnix* et *Hœrde* ont entrepris la fabrication du *ferromanganèse*. Grâce à leur coke si pur et à si bon marché, grâce aussi aux facilités d'arrivages qu'elles possèdent pour les minerais les plus éloignés, Canada, Nouvelle-Zélande, cap de Bonne-Espérance, etc., ces usines prennent, dans la production de ce produit spécial, une place de plus en plus grande. Elles n'ont peut-être pas encore toute l'expérience et l'assurance des établissements qui les ont devancées; elles n'acceptent ni ne réalisent aussi facilement les marchés à haute teneur, mais elles progressent tous les jours.

En matière de *hauts fourneaux*, les installations récentes sont imitées de l'Angleterre. — Capacité de 400 mètres cubes, hauteur de 20 mètres. — Chauffage Whitwell et tuyères en bronze.

La *fonderie* n'est pas très développée, ce qui se conçoit pour une industrie qui faisait venir sa fonte de l'étranger. Friedrich-Wilhelmshutte présente cependant une production annuelle de 50000 tonnes de tuyaux de gros calibre; on y a supprimé les fosses; les moules sont suspendus au-dessus du sol et leur séchage se fait avec un poêle mobile.

Les articles en fonte trempée sont, au contraire, assez développés dans le pays de Siegen.

Nous arrivons à l'*affinage*.

Comme partout, on a supprimé la mazerie et on puddle directement. On obtient d'excellents produits par le travail des fontes manganésifères phosphoreuses; la déphosphoration y est, sinon rapide (ce puddlage est très lent), au moins très complète.

C'est encore sans doute à la présence du manganèse dans le puddlage qu'il faut attribuer la grande beauté des tôles en fer de ce pays; le manganèse agissant comme réducteur sur les scories du bain, diminue ou supprime la proportion de peroxyde qui, agissant sur le carbone du fer, dégagerait ces *gonfles* d'oxyde de carbone si nuisibles à l'homogénéité des tôles de fer.

On voyait à Dusseldorf des produits très remarquables, analogues à de l'acier puddlé et obtenus avec une fonte à 1,5 pour 100 de phosphore, et du ferromanganèse à 67 pour 100 en addition variant de 0 à 4 pour 100. Les charges de rupture s'élèvent alors de 36 à 45 kilogrammes, les allongements, de 9 à 27 pour 100, tandis que les contractions de section passent de 23 à 43 pour 100. Ces expériences du Phœnix sont assez curieuses.

A propos de fer, il me semble intéressant de montrer où en est, en Allemagne, la question de la *voie entièrement métallique*. Grâce à la communication de M. Gruttefien, employé supérieur du ministère des travaux publics à Berlin, nous avons les renseignements les plus dignes de foi.

L'Allemagne n'importe pas de traverses, elle en trouve suffisamment dans ses forêts de sapins du Brandebourg et de la Poméranie; mais, dans la crainte d'un renchérissement du bois, on y a étudié de bonne heure la voie métallique.

Parmi les voies métalliques, la *voie Hartwich*, avec son grand rail à

patin enfoui dans le ballast, manquait de base et nécessitait des relèvements fréquents.

La voie *Hilf*, avec son rail léger, reposant sur une longrine en E, d'un laminage difficile, avait aussi, quand le ballast était un peu fin, l'inconvénient de s'enfoncer.

La voie Rhénane employait une longrine analogue à la traverse Vautherin, c'est-à-dire en forme de cuve renversée; les résultats en sont assez bons, mais le patin du rail s'imprime sur la surface.

La voie Haarman se compose d'une longrine en U renversé avec bords relevés horizontalement; l'attache se fait en saisissant par des crampons la surface supérieure du patin et s'appuyant sur l'angle inférieur de la cuve, au moyen d'un trou qui est pratiqué sur les ailes horizontales; le tout est relié par des boulons.

C'est aux personnes compétentes à discuter la valeur de cette dernière voie métallique, qui semble en grande faveur de l'autre côté du Rhin.

D'autres systèmes, avec traverses métalliques, sont également à l'essai; ce sont : la traverse Vautherin renforcée et modifiée dans son mode d'attache, et les traverses Hilf et Haarman analogues aux longrines des mêmes inventeurs.

Suivant les ingénieurs prussiens, la voie entièrement métallique ne présenterait d'avantages sur la voie ordinaire qu'au bout d'un ou deux ans, mais alors ces avantages seraient sérieux, une fois la consolidation obtenue.

« J'exprime le profond désir, dit M. Gruttefien, que les excellentes
« qualités de la voie entièrement métallique, qui, malheureusement sont si
« mal jugées par nos Collègues français, reçoivent une meilleure apprécia-
« tion en Angleterre. »

Il nous reste à parler de l'*acier*, qui est représenté d'une manière brillante à l'exposition de Dusseldorf.

L'usine d'Essen est surtout remarquable par son canon d'acier de 72 tonnes placé sur un affût de côte de 45 tonnes. Cette pièce, du calibre de 40 centimètres, communique, avec 220 kilogrammes de poudre, une vitesse de 500 mètres à un obus en acier du poids de 777 kilogrammes, dont 33 kilogrammes de charge explosive. Un semblable projectile perce, en tir normal, deux plaques de 30 cent. de fer superposées, à la distance de 5 kilomètres.

Nous arrivons maintenant à la déphosphoration représentée par les usines de *Hœrde* et les *Aciéries du Rhin*.

J'ai expliqué déjà, dans des communications précédentes, que ces usines employaient de la fonte blanche, *ayant moins d'un millième de silicium et quinze à vingt millièmes de phosphore*. Cette fonte est fondue au cubilot, avec un excès de combustible, pour lui communiquer la chaleur initiale convenable. Soit qu'il n'y ait pas de hauts fourneaux dans l'usine ou que les hauts fourneaux soient trop éloignés (1,200 mètres environ), on ne prend pas directement la fonte. Il y a donc un élément de comparaison qui

manque, quand on veut se rendre compte de l'augmentation de frais causée par le traitement basique, pour l'ajouter au prix des matières premières.

De grands progrès ont été réalisés : on est plus sûr de ce que l'on obtient; on arrive, quand on prolonge le sursoufflage, à une déphosphoration telle, qu'il y a moins de phosphore qu'en traitant les fontes du Cumberland ou des minerais d'Afrique. Il reste la question des fonds de convertisseur, qui laisse encore à désirer; avec les mêmes appareils, on ne produit que *la moitié de ce que l'on obtenait en employant les fontes pures;* mais on arrive, dans les qualités douces, à une décarburation qu'on n'avait jamais pu produire. Il n'est pas encore bien prouvé que les rails d'acier doivent être faits par cette méthode, pour présenter toutes les garanties de dureté et de résistance désirables, mais comme *puddlage mécanique des fontes de qualité inférieure* le procédé basique fait concevoir les plus grandes espérances.

Il serait à désirer que la déphosphoration sortît de la période de démonstration, pour entrer dans l'application en grand d'une usine qui n'employât pas d'autre procédé; mais alors aura-t-on les mêmes facilités d'étude?

. Il resterait à parler des industries accessoires qu'on pouvait voir à Dusseldorf, très bien représentées.

Les produits réfractaires de Vygen et d'Otto sont de premier ordre, si l'on s'en rapporte à la durée de certains garnissages de hauts fourneaux. Les briques basiques se fabriquent couramment dans ces usines et y coûtent aux environs de 100 francs la tonne.

Le gazogène *Gröbe-Lürmann*, qui s'applique avec une économie notable dans tous les cas où les gaz, au sortir des fours, servent à faire de la vapeur, était une des curiosités de l'exposition de Dusseldorf. Ce gazogène produit dans deux espaces contigus la distillation de la houille et la gazéification du coke formé. On combat le refroidissement de la chambre de distillation en l'entourant par les flammes perdues, et on arrive ainsi, sans régénération de chaleur, à une température suffisante pour la fusion du verre.

Il faudrait encore dire quelques mots de la fabrique d'armes de Witten, qui produit par jour 300 fusils du système Martini-Henry, et qui serait déjà, en France, une usine importante rien que par sa fabrication d'acier au creuset.

Enfin, on trouvera dans la publication *in extenso* de mon Mémoire, des détails sur l'industrie de la maison Piedbœuf de Dusseldorf. La fabrication des tuyaux en fer soudés par recouvrement y est portée à un haut degré de perfection. J'en dirai tout autant des chaudières que livre le même établissement. Elles semblent aussi remarquables par la qualité de la matière que par la nouveauté des types.

M. Lencauchez dit que le gazogène Lürmann n'est pas autre chose qu'une variété de son gazogène de 1873, connu sous le nom de *gazogène distillateur* décrit pl. 8, en 1876, dans son ouvrage : *La Tourbe,* et reproduit pl. 2, en 1878, dans son autre ouvrage : *Étude sur les combustibles.* M. Lencauchez ajoute que le gazogène distillateur n'a qu'une seule application sérieuse, qui est celle de l'emploi des fines grasses de houille en folle

poussière, qui sont agglomérées en coke léger dans *les bacs cornues* en donnant du gaz d'éclairage ; puis ce coke tombe sur la grille à gradins du gazogène proprement dit où, il est transformé en oxyde de carbone. Les gaz de distillation et de gazogène sont mêlés, et c'est la chaleur perdue de la gazéification du coke qui produit la distillation de la houille grasse en poussière.

Hors de ce cas particulier il faut donner la préférence au gazogène à grille à gradin, à sole arrosée et à porte fermant le devant de grille. Cette disposition vaut mieux que celle des grilles à barreaux qui donne des combustions anticipées dans le gazogène : de plus, l'arrosage modéré, 40 à 50 kilog. d'eau par heure et par mètre de largeur de poitrine de gazogène, donne lieu à une décomposition de la vapeur d'eau qui produit le gaz dit à l'eau (C O et H).

Par une simple transformation de grille M. Lencauchez a obtenu une économie de 35 p. 0/0, dont 15 étaient dus à la décomposition de la vapeur d'eau utilisant le rayonnement de la grille.

Pour les combustibles (houille) secs et pulvérulents, il faut employer encore le gazogène à portes avec barrage séparant en deux capacités l'intérieur du gazogène, qui alors a une prise de gaz comme un haut fourneau ; mais, dans ce dernier cas, il faut souffler l'appareil, la pression du vent peut varier entre $0^m,120$ et $0^m,200$ (exprimé en colonne d'eau) sans que pour cela la pression du gaz dépasse $0^m,005$, cette grande pression est indispensable pour permettre au vent de traverser la charge.

Mais dans tous les cas, quel que soit le type de gazogène, la gazéification ne doit jamais dépasser 1,200 kil. par 24 heures et par mètre de largeur de poitrine de gazogène, sans quoi, cet appareil, sauf le cas de l'emploi du coke, devient une très mauvaise grille à houille. Enfin, plus un combustible est cendreux, plus la surface de grille doit être grande ; avec des houilles à 30 et 40 p. 0/0 de cendre il faut doubler la surface, soit le nombre des gazogènes rapportés à l'emploi des houilles à 5 et 6 p. 0/0 de cendre.

M. Lencauchez dit qu'il a étudié la fabrication de la brique en dolomie en Westphalie et qu'il trouve cette fabrication aussi parfaite que possible. La dolomie en roche est brisée au concasseur, puis passée au cylindre, de là elle est conduite par une chaîne à godets dans un trommel ; les grains gros comme le blé, sont recueillis, les gros sont renvoyés aux cylindres et les fins avec la poussière sont conduits à des meules verticales pour être transformés en farine.

Avec 70 à 75 pour 100 de grain, et 30 à 25 pour 100 de farine on fait, au malaxeur, un mortier qui est moulé comme la brique ordinaire ; séché de même, etc., etc.

Seulement les moules doivent avoir en plus 50 pour 100 en toutes dimensions que le produit cuit : ainsi pour avoir la brique de $0^m,220 \times 0^m,110 \times 0^m,055$, il faut un moule de $0^m,330 \times 0^m,165 \times 0^m,083$.

La densité de la brique cuite est de 2, 4, son poids au modèle ci-dessus est de 3 kil. 140 gr. à 3 kil. 180 gr.

En Westphalie ces briques sont vendues 100 fr. la tonne, soit 300 à 315 fr. les mille briques; comme il faut 15 tonnes de houille pour cuire mille briques, on voit qu'une telle fabrication n'est possible qu'en Westphalie où la houille ne vaut que 5 fr. la tonne. En France il ne serait guère possible de faire la brique en dolomie au-dessous de 500 fr. le mille avec de la très bonne houille à 15 fr. la tonne.

En Westphalie, on estime à 3 fr. la dépense de briques et de garnissage basiques par tonne de fonte affinée en déphosphoration. En France il faudrait compter sur 5 fr. au moins.

M. Lencauchez dit qu'en ce qui concerne la rapidité de la décarburation dans l'affinage sur parois basiques : il faut remarquer que dans l'affinage sur parois acides, l'oxyde de fer formé se combine avec la silice provenant de la combustion du silicium et de celle prise aux parois; or, tant qu'il se forme des silicates, il n'y a pas de décarburation; tandis que dans l'affinage sur parois basiques avec addition de chaux vive, la formation des silicates ne s'oppose pas à la réaction de l'oxygène de l'oxyde de fer sur le carbone de la fonte; de là, la grande rapidité qu'acquiert l'affinage dans ce dernier cas.

M. Lencauchez cite une opération faite chez M. de Wendel au four Pernot avec tuyère rasante, où, avec une addition en deux fois de 20 pour 100 de minerai en poudre, on a pu faire, en moins d'une heure avec parois basiques, une coulée d'acier, en partant de fonte de Moselle blanche à 1,5 pour 100 de phosphore; l'acier obtenu avait 6 dix-millièmes seulement de phosphore.

M. F. Gautier ne peut s'expliquer cette rapidité d'opération en présence du minerai, comme décarburant, attendu qu'en Angleterre il a toujours remarqué que la méthode par addition de minerais riches, est beaucoup plus lente que celle par addition de riblons.

M. Lencauchez répond que ce fait l'a surpris comme tout le monde et que c'est justement pour ceci qu'il le signale tout particulièrement à ses Collègues, qui ont à leur disposition des fours Pernot.

La séance est levée à onze heures.

MM. Bon, Bresson, Franca Leite, Lamboi, Lhermitte, Mouchot, de Muralt, Poisat et Quenay ont été reçus comme membres sociétaires, et MM. Deullin, Loutreuil, le baron E. de Rothschild, le baron G. de Rothschild et Vandermeylen comme membres associés.

CHRONIQUE

Sommaire. — Accident du pont de Saint-Charles (Missouri). — Anciennes pompes à incendie à vapeur. — Machines élévatoires des eaux de Genève. — Usure des rails. — Petit moteur à aéro-vapeur. — Tramway à vapeur de La Haye à Scheveningen.

Accident du pont de Saint-Charles (Missouri). — Notre collègue, M. T. Seyrig, a bien voulu faire le résumé suivant de l'enquête qui a eu lieu au sujet de cet accident.

Le 8 novembre 1879, une grande travée du pont sur le Missouri, à Saint-Charles, fut détruite sous le passage d'un train. Une enquête fut ouverte et les principaux ingénieurs des États-Unis expérimentés dans la construction des ponts métalliques, furent appelés en témoignage. Le résumé de cette enquête a été publié et nous en extrayons les points essentiels.

La travée écroulée avait environ 60 mètres de portée. Elle était la plus grande d'une série nombreuse du système tubulaire et était à 24 mètres au-dessus de l'eau. Les poutres étaient à double treillis, c'est-à-dire à grandes croix de Saint-André sans montants verticaux; les travées voisines étaient du système Pink, avec les poutres placées sous la voie.

La voie dans la grande travée était posée directement sur des traverses en bois de $0^m\ 20$ sur $0^m\ 37$ placées sur champ et espacées de $0^m\ 45$. Ces traverses portaient, à $0^m\ 50$ en dehors des rails, des contre-rails en bois destinés à protéger les poutres. Elles reposaient à leurs extrémités sur des fers en U placés dans le plan des poutres principales, immédiatement au-dessus des membrures inférieures, lesquelles consistaient, suivant un usage fréquent en Amérique, en tirants à œil juxtaposés et assemblés par des axes. Ces mêmes axes portaient les fers en U dont il est question plus haut. Sous la charpente qui portait la voie, se trouvait un contreventement formé de barres de fer rond.

Le train qui passait sur le pont de Saint-Charles au moment de l'accident se composait de la machine avec son tender, de 18 wagons à bestiaux et d'un fourgon de queue. Il marchait très lentement, faisant 5 kilomètres environ à l'heure, au dire du mécanicien; la machine et le wagon de tête venaient de sortir de la travée lorsque celle-ci tomba entraînant avec elle tout le reste du train.

Un ouragan des plus violents avait eu lieu une heure avant l'accident, et l'on avait tout d'abord attribué le désastre à l'effet du vent ou de la foudre. Tous les Ingénieurs appelés à déposer dans l'enquête ont combattu cette

opinion. Deux autres trains avaient passé sans accident sur le pont depuis l'ouragan. La construction elle-même est proclamée exceptionnellement robuste en ce qui concerne la résistance aux efforts latéraux du vent, et toute la partie métallique semble avoir été bien proportionnée et bien exécutée, d'après les principes en usage aux États-Unis.

On a cru trouver, en fin de cause, l'origine de la chute du pont de Saint-Charles dans un déraillement. Un des wagons du milieu du train serait sorti de la voie, ainsi qu'en témoignaient des marques sur le plancher de la travée qui précède celle qui a cédé. Arrivées sur celle-ci, les roues du wagon auraient frappé les traverses en bois et les auraient brisées. Le contreventement inférieur aurait du même coup été tordu ou brisé, les outres principales déviées de leur position normale et l'ensemble de la travée se serait écroulé, entraînant avec lui la partie du train encore en arrière.

C'est en effet la seule explication plausible que l'on puisse admettre après avoir examiné les diverses dépositions de l'enquête. Cet exemple fait ressortir la défectuosité des planchers des ponts Américains. Il suffit qu'un wagon sorte des rails pour détruire les traverses, et le contreventement léger et nullement protégé qui est immédiatement au-dessous se trouve ensuite atteint.

Les assemblages par articulation, n'offrant eux-mêmes aucune rigidité, cèdent au plus petit effort latéral et la ruine des grandes poutres est inévitable.

Ces inconvénients, déjà reconnus antérieurement, paraissent avoir été mis en évidence par l'accident dont nous parlons, et on modifie aujourd'hui la construction des planchers des ponts, de façon à assurer une sécurité notablement plus grande.

Anciennes pompes à incendie à vapeur. — La *Revue Britannique* donnait, en mai 1830, les détails suivants sur une pompe à incendie à vapeur.

Voici encore une nouvelle et importante application de la vapeur. On la doit à M. Braithwaite. Cet Ingénieur a eu l'heureuse idée d'appliquer aux pompes à incendie l'appareil de la *Novelty*, locomotive construite par lui et M. Ericsson et qui a figuré au concours du chemin de fer de Manchester à Liverpool.

Cette pompe a fonctionné pour la première fois à l'incendie d'Argyll; à la vigueur avec laquelle elle lançait par son double orifice des torrents d'eau à une hauteur prodigieuse, on a pu se convaincre qu'aucune des pompes précédemment employées ne pouvait soutenir la comparaison avec cette machine, qui a en elle-même sa force et son principe d'action.

L'appareil se compose de deux cylindres, l'un de 0^m 178 de diamètre qui est le cylindre à vapeur, et l'autre qui est la pompe à eau de 0^m 165 de diamètre. Au moyen de la position horizontale des deux cylindres, on obtient facilement un mouvement parallèle et régulier. Une autre partie non moins importante de cette machine est la chaudière, qui est entièrement semblable

30

à celle de la *Novelty*[1]. Il n'est pas inutile de dire que la chaudière n'occupe que le cinquième de l'espace de toutes celles qui ont été construites antérieurement, et que son poids est réduit dans la même proportion. L'économie du combustible est de moitié et, la combustion étant parfaite, il n'y a pas de fumée. Il en résulte qu'on n'a pas besoin des énormes cheminées des autres machines à vapeur si dispendieuses et si incommodes. Ces cheminées sont remplacées par un petit tube qui n'a d'autre usage que de préserver le mécanicien du contact de l'air chaud.

La pompe à laquelle la machine a été appliquée, peut lancer 40.000 litres d'eau à l'heure à une hauteur de plus de 30 mètres par un orifice de 22 millimètres de diamètre. La quantité d'eau serait encore plus considérable avec un orifice plus grand. L'élévation du jet dépend beaucoup de l'état de l'atmosphère. Dans un temps calme, une colonne d'eau de 22 millimètres de diamètre s'est élevée à une hauteur de 43 mètres.

Un autre point qui est aussi fort important, c'est le temps nécessaire pour produire la vapeur et mettre la pompe en mouvement. Voici à cet égard ce qui résulte de plusieurs expériences. Il a fallu 18 minutes depuis le moment où on a allumé le combustible, l'eau étant presque froide, jusqu'à celui où la vapeur a acquis toute sa puissance[2], et, dans les divers incendies où cette machine a déjà fonctionné, la chaudière était en pression avant que l'on eût pu se procurer de l'eau et prendre toutes les autres dispositions nécessaires.

Nous n'hésitons pas à dire qu'avec des hommes habitués, une machine construite sur ce principe sera mise en mouvement au moins aussi vite que les pompes les plus puissantes des Compagnies d'assurances.

La manière de procéder est très simple; aussitôt que l'alarme est donnée, le mécanicien met le feu au combustible, et, conjointement avec son aide, il fait fonctionner les soufflets. Pendant ce temps, on attelle les chevaux et, quand cette opération est finie, le feu est allumé. Il existe une transmission entre les roues et les soufflets, de manière que ces soufflets sont mus par le mouvement des roues, tandis que les chevaux conduisent la pompe au lieu de l'incendie.

Un autre grand avantage de cette machine c'est le petit nombre d'hommes qu'elle emploie, car il ne lui en faut que deux. De cette manière, on évite le bruit et le trouble occasionnés par le grand nombre d'individus indispen-

1. La chaudière de la locomotive la *Novelty*, de Braithwaite et Ericsson, était formée d'une boîte à feu verticale cylindrique et d'un corps cylindrique horizontal. La première contenait un foyer cylindro-conique à axe vertical, et le second un tube coudé formant trois parcours horizontaux, et dont le diamètre allait en diminuant du foyer à la cheminée placée à l'extrémité du corps cylindrique. La combustion était activée par une soufflerie envoyant l'air sous la grille.

2. C'est à peu près le temps qu'il faut pour mettre en pression les pompes à vapeur de construction moderne. Au premier concours de ces engins à l'Exposition de 1862, à Londres, la machine Merryweather a demandé 12 minutes 10 secondes, et la machine Shand et Mason, 18 minutes et 30 secondes.

sables pour manœuvrer les pompes ordinaires qui ne peuvent se passer de l'aide de la populace réunie au lieu de l'incendie.

Le concours de cette populace donne presque toujours lieu à beaucoup de désordre. Il est inutile d'insister sur de si grands avantages. Celui de l'économie s'y trouve également. La dépense de combustible mérite à peine d'être comptée, car elle ne s'élève qu'à 60 centimes à l'heure.

D'un autre côté, on pourra se passer, quand cette machine sera d'un usage général, de ces corps de pompiers qui reçoivent des salaires fort onéreux aux Compagnies d'assurances.

Il serait facile, avec une petite dépense additionnelle, de diminuer de moitié le temps nécessaire à la production de la vapeur. Il suffirait pour cela d'avoir toujours de l'eau chaude dans les lieux où les machines seraient remisées. Le coût de ces engins serait d'environ 20,000 francs; c'est du moins à ces conditions qu'elles ont été proposées aux diverses compagnies d'assurances. Ce prix est sans doute élevé, mais il est compensé, et bien au delà, par la diminution du personnel indispensable à la manœuvre des autres pompes.

Machines élévatoires des eaux de Genève.—Le débit du Rhône à sa sortie du lac Léman varie de 70 à 800 mètres cubes par seconde; la chute qu'on peut obtenir est de 0,65 à $1^m,40$; il n'y a pas de relation directe entre le débit et la chute, celle-ci dépendant du niveau du lac et de celui du Rhône, lesquels subissent des influences de diverses natures. Si on prend le débit moyen et la chute moyenne, on trouve un travail brut de 6,000 chevaux en nombre rond.

Les premières machines élévatoires de Genève étaient des roues pendantes, mues par le courant du Rhône et actionnant, par de grossières transmissions en bois, des pompes verticales; on trouve un modèle de cet appareil dans les collections du Conservatoire des Arts et Métiers.

Vers 1840, M. Cordier établit deux grandes roues à palettes dont les arbres commandaient directement des pompes verticales. Cet appareil est placé dans un bâtiment en pierre établi au milieu du Rhône. Il a seul fonctionné jusqu'en 1870. Les roues font de 6 à 7 tours par minute, et fournissent à elles deux un volume d'eau de 180 mètres cubes environ à l'heure, soit 4,320 mètres cubes par 24 heures, élevés à 50 mètres.

Ce volume d'eau étant devenu absolument insuffisant, on établit, en 1870, dans le même bâtiment et à côté des premières roues, une roue-turbine Girard, à axe horizontal actionnant deux pompes Girard.

Cet appareil fut construit par M. Roy, de Vevey. La roue fait de 4 à 11 tours par minute et le débit varie selon le nombre de tours de 154 à 222 mètres cubes à l'heure.

On monta ensuite, toujours dans le même bâtiment et de l'autre côté des roues Cordier, une turbine à siphon actionnant deux pompes Girard; cet appareil fut établi par notre regretté maître Callon. Le nombre de tours varie de 11 à 16, et le débit à l'heure, de 264 à 384 mètres cubes.

Les appareils Callon et Roy fonctionnent simultanément et fournissent un volume d'eau total qui varie de 10,000 à 14,500 mètres cubes par 24 heures.

On ne se sert plus des roues Cordier qu'en cas de réparation à l'une ou à l'autre des premières machines.

La quantité d'eau fournie devant être augmentée, on dut se préoccuper d'établir de nouvelles machines. On ne pouvait le faire dans le bâtiment actuel où il n'y avait plus de place, et son agrandissement aurait conduit à de grandes difficultés.

Pour diverses raisons parmi lesquelles on peut citer, dans un ordre d'idées, la variation considérable de régime du Rhône et, dans un autre, le différend pendant entre les cantons de Vaud et de Genève au sujet du niveau des eaux du lac dont le premier attribue l'élévation en grande partie aux établissements hydrauliques de Genève, on se décida à établir des machines élévatoires à vapeur.

Ces machines, au nombre de deux indépendantes l'une de l'autre, ont été fournies par MM. Escher Wyss et Cie de Zurich. Il n'y a encore que la première qui fonctionne, la seconde est en montage.

Chaque machine se compose d'un cylindre à vapeur horizontal dont le piston commande, en avant par bielle et manivelle, un arbre portant un volant pesant 9,000 kilog., et en arrière le piston d'une pompe horizontale à deux corps et à plongeur, système Girard. Les pistons plongeurs de $0^m,360$ de diamètre ont leurs bouts pointus pour diminuer la résistance à grande vitesse; les corps de pompe sont réunis au cylindre à vapeur par de forts tirants en fer. Les soupapes d'aspiration sont sur les côtés, et les soupapes de refoulement au-dessus des corps de pompe; ces soupapes sont à clapets multiples. Il y a un réservoir d'air de 6 mètres cubes commun aux deux machines, avec robinet-vanne de $0^m,60$ de diamètre à la sortie.

Les cylindres à vapeur ont $0^m,600$ de diamètre, la course est de $1^m,100$. Ils sont à enveloppe de vapeur, les pistons ont des segments en fonte avec tension automatique par ressorts en spirale. Le bâti est de la forme Corliss, les glissières ont la forme cylindrique et les patins de la tête du piston sont à rattrapage de jeu. La tête de la tige du piston, embrassée par la fourchette de la bielle motrice, commande de chaque côté une petite bielle, et ces deux bielles actionnent, par un balancier vertical à fourche, la pompe à air placée horizontalement au-dessous du sol et la pompe alimentaire.

La distribution s'opère au moyen de quatre soupapes équilibrées, les soupapes d'admission sur le cylindre, les soupapes d'échappement au-dessous.

L'arbre du volant commande par un engrenage d'angle un arbre placé parallèlement à l'axe de la machine; cet arbre, qui commande également le régulateur, porte deux excentriques circulaires, un pour chaque extrémité du cylindre.

Chaque excentrique commande par une bielle et une touche à bascule la soupape d'échappement et, par un système à déclic, la soupape d'admission.

Ce système, dont il est impossible de donner la description sans figure, rappelle d'une manière générale la disposition Sulzer, mais il présente la particularité que la touche du levier de la soupape est animée d'un mouvement parallèle à celui de la touche mobile, de sorte que les deux touches portent complètement l'une sur l'autre, au lieu de ne le faire que par des arêtes; l'usure est ainsi diminuée sur ces pièces. Le régulateur du système Porter, a un contre poids mobile au moyen d'une vis de rappel et un cylindre à huile; il est disposé pour régler la vitesse à des nombres de tours pouvant varier de 15 à 45. Il y a une soupape à double siège entre le cylindre et le condenseur, pour que la machine puisse au besoin fonctionner sans condensation.

Le volant porte à l'intérieur de la jante une denture de rochet et un levier avec cliquet permet de fer tourner la machine à la main.

Les chaudières timbrées à 7 kilog. sont au nombre de deux; chacune se compose d'un grand bouilleur transversal contenant deux foyers circulaires Ten Brinck à grille inclinée avec clapet d'air, 3 corps de chaudière cylindriques et 6 bouilleurs; la surface de chauffe de chaque chaudière est de 100 mètres carrés. Ce système était exposé à Paris en 1878; on en trouvera une description dans le Bulletin de la Société de mai 1880.

Voici les conditions d'établissement des machines. Chacune doit fournir 6,000 litres par minute à la marche normale de 30 tours, et 9,000 litres à 45 tours sous une pression de 50 mètres d'eau.

La dépense de combustible ne devait pas dépasser 1^{kg},250 de houille de Sarrebrück, ou des bassins de la Loire ou du Gard, de première qualité, par cheval mesuré en eau montée, à la vitesse de 30 tours, la puissance développée étant évaluée par le produit du volume par seconde par la pression au manomètre des pompes, augmentée de la hauteur de celles-ci au-dessus du plan d'eau dans le puisard. Cette constatation de la dépense devait avoir lieu après 3 mois ou 900 heures de marche, et l'essai devait durer deux journées entières de 10 heures de marche consécutive chacune.

Les constructeurs étaient passibles d'une retenue de 500 francs par 10 grammes de charbon dépensé en plus du chiffre de 1^{kg},250, et les machines pouvaient être refusées au cas où l'augmentation aurait atteint 250 grammes, mais par contre, les constructeurs devaient recevoir une prime de 500 francs par 10 grammes si la dépense descendait au-dessous de 1^{kg},250. De même pour la livraison, l'amende était de 30 francs par jour de retard, et la prime de même somme par jour d'avance sur la date fixée.

Le prix des deux machines, y compris transport et montage, était de 111,400 francs.

Les expériences définitives de réception n'auront lieu que lorsque la seconde machine sera prête, mais les essais faits déjà sur la première machine ont prouvé que les conditions de débit et de consommation sont parfaitement remplies.

Chaque machine pourra donc, à la marche maxima de 45 tours, fournir 12,960 mètres cubes par 24 heures, c'est-à-dire à peu près le débit maxi-

mum des machines Callon et Roy réunies, et cela en toute saison et indépendamment du régime du fleuve, lequel gouverne absolument la marche des anciennes machines.

Usure des rails. — L'administration du chemin de fer de Cologne-Minden a fait faire, dans les parties qui avoisinent la station d'Oberhausen, des relevés relativement à la durée comparative des rails de diverses natures. Il en ressort qu'au bout de quinze ans il a fallu remplacer les proportions suivantes :

Rails en fer à grain fin	. . . .	82	pour 100.
— fer ordinaire	. . . .	74	—
— acier puddlé	. . . .	41.66	—
— acier Bessemer	. . . .	4.71	—

Les rails en fer et en acier puddlé ont surtout été mis hors de service par suite de l'altération des têtes résultant de défauts de fabrication, et on a constaté que les rails en fer qui subsistaient, avaient subi moins de diminution de hauteur que les rails Bessemer; ceux-ci ont perdu en moyenne 6,08 millimètres en quinze ans sous le passage de 8,600,000 essieux, ce qui correspond à une usure de 1 millimètre pour 6,065,000 tonnes.

(*Engineering.*)

Petit moteur à aéro-vapeur. — MM. Hathorn, Davey et Cie, de Leeds, construisent un petit moteur que son inventeur, M. Davey, a baptisé du nom de *Simplex.*

Cette machine est en effet très simple; elle fonctionne au moyen d'un mélange d'air et de vapeur. En voici le principe :

Le piston a une tige de gros diamètre, de sorte que les deux capacités du cylindre ont des volumes très différents. La plus grande, qui produit le travail, a l'admission et l'échappement réglés par un tiroir mû par un excentrique ordinaire; l'autre capacité sert de pompe de compression, elle est munie de deux clapets, l'un pour l'aspiration, l'autre pour le refoulement. Le générateur est un serpentin en fer placé dans un foyer en tôle ou en fonte, garni d'un revêtement intérieur réfractaire. Autour de la cheminée est une bâche à eau à air libre.

Le piston, du côté de la petite capacité, aspire de l'air et une petite quantité d'eau chaude; au retour du piston, ce mélange est refoulé dans le serpentin où l'air se dilate et l'eau se vaporise, et ils agissent ensemble sur la face supérieure du piston pour être rejetés après dans l'atmosphère.

Un de ces moteurs à cylindre de 89 millimètres de diamètre et 102 de course a été soumis, par le professeur Kennedy, à des expériences au frein et à l'indicateur qui ont donné les résultats suivants :

Nombre de tours	130	100	60
Travail total sur le piston	$0^{ch},793$	0,503	0,386
Travail absorbé par la pompe	0,053	0,033	0,036
Travail net sur le piston	0,740	0,740	0,350
Travail sur l'arbre	0,506	0,360	0,216
Coefficient de rendement organique	0,68	0,76	0,62

On ne donne aucun renseignement sur la dépense de combustible, mais cette question est peu importante pour des moteurs de cette dimension. Pour de plus grandes puissances, l'inventeur fait le cylindre moteur à double effet et emploie une pompe de compression spéciale. (*Engineering.*)

Tramway à vapeur de la Haye à Scheveningen. — Le tramway qui réunit la capitale de la Hollande à la célèbre plage de Scheveningen a 4,800 mètres de longueur. Dans la ville la voie est avec contre-rails laissant une ornière de 22 millimètres. Les rails pèsent $19^{kg},30$ le mètre courant, les traverses métalliques 16 kilog. L'ensemble de la voie pèse par mètre courant 95 kilog., pour la partie dans la ville, et 80 pour celle en dehors. Le plus petit rayon des courbes est de 28 mètres.

Le matériel se compose de longues voitures à voyageurs à deux trucks, de voitures à 4 roues et de wagons ouverts à marchandises. Il y a 12 locomotives Merryweather à cylindres de 0,178 de diamètre et 0,280 de course, pression 8 1/2 atmosphères. Le tramway a été ouvert en juin 1879; dans la saison des bains, il y a jusqu'à 64 trains par jour. (*Iron.*)

COMPTES RENDUS

ACADÉMIE DES SCIENCES.

Séance du 20 septembre 1880.

Note de M. Biver sur la **machine à tunnels de Brunton**. Cette machine, proposée pour le percement du tunnel sous la Manche, supprime complètement l'emploi des explosifs; l'essai en a été fait à Gardanne par la Société des charbonnages des Bouches-du-Rhône pour le creusement d'un tunnel devant servir à établir un trainage par chaîne flottante. La machine recevait, par une chaîne sans fin, le mouvement d'un moteur placé à 400 mètres du tunnel. L'avancement n'a été, dans les meilleurs essais, que de $0^m,12$ à $0^m,17$ par heure de travail effectif. La force motrice était insuffisante, car on n'obtenait que 150 à 210 tours de l'arbre moteur au lieu de 300. Des expériences dynamométriques ont démontré que, pour 51 chevaux développés par le moteur, 12,4 seulement étaient transmis à la machine Brunton, le reste était absorbé par les transmissions.

SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

AOUT 1880.

Rapport de M. COLLIGNON sur les **freins dynamométriques de M. Carpentier et de M. Marcel Deprez.**

Le premier de ces appareils a pour but de remédier aux oscillations irrégulières que prend le frein de Prony, et qui obligent l'opérateur à modifier d'une manière continuelle le serrage des mâchoires.

M. Carpentier emploie deux poulies à gorge montées l'une à côté de l'autre sur l'arbre, l'une calée, l'autre folle; à la poulie folle s'attachent deux cordes portant chacune, à son extrémité, des poids P et p. La corde qui porte le poids le plus petit p, tombe librement le long de la gorge de la poulie folle; l'autre corde y est aussi attachée, mais dans le plan de la poulie calée et s'engage dans la gorge de celle-ci. Si on fait tourner l'arbre dans le sens où agit le poids P, la corde qui porte ce poids subit le frottement de la poulie mobile, et la différence des tensions aux deux extrémités de l'arc embrassé croît très rapidement à mesure que cet arc augmente. La poulie folle tournerait donc avec l'arbre si elle n'était retenue par le poids p qui agit sur l'autre corde, et l'équilibre s'établit de lui-même lorsque l'arc embrassé a pris l'amplitude qui amène la tension de la corde, prise à son point d'attache, à être égale à p. Dans ces conditions, le frottement total exercé par la corde sur la poulie mobile est égal à la différence $P - p$, et le travail développé par seconde se mesure par le produit :

$$(P-p) \times \frac{n}{60} \times 2\pi R.$$

R étant le rayon de la circonférence de glissement et n le nombre de tours par minute.

Cet appareil convient particulièrement aux moteurs de faible puissance, pour lesquels le frein ordinaire de Prony est à peu près inapplicable.

M. Marcel Deprez donne à son frein dynamométrique la forme d'une sorte de tenaille entre les branches de laquelle l'arbre se trouve pincé. Un troisième levier, parallèle aux branches de la tenaille et compris entre elles, s'y rattache par des bielles articulées qu'on a soin de ne pas placer en regard l'une de l'autre; ce levier porte à son extrémité libre, située sensiblement sur l'axe de l'arbre, un poids Q suspendu à une corde. Ce poids, destiné à régler le serrage, est indépendant d'un autre poids P qui fait équilibre au frottement des mâchoires et qui seul figure dans l'expression du travail à mesurer. Le poids P agit à l'extrémité d'une corde fixée à une poulie inva-

riablement réunie aux mâchoires et centrée sur l'arbre, de sorte que le poids P conserve toujours le même moment, quelle que soit l'inclinaison de l'appareil. Au contraire, le serrage produit par le poids Q dépend de l'inclinaison et varie proportionnellement au sinus de l'angle d'inclinaison des leviers par rapport à la verticale. On comprend dès lors que si, l'appareil étant en fonction, le frottement vient à diminuer, le frein entraîné par l'excès du poids P s'incline, l'effort dû au poids Q augmente et l'équilibre se rétablit. De même si le frottement augmente. L'appareil est très sensible et peut s'appliquer à toutes les puissances.

Rapport de M. de Laboulaye sur les **nouveaux tissus de M. Lecaisne-Maréchal.**

Ce sont des tissus à surface ondulée, dont le principe de fabrication consiste à employer pour la trame des fils cannelés qui se placent entre les fils de la chaîne. Ces fils cannelés sont obtenus au moyen d'un tricot produit au métier circulaire, soumis ensuite à des apprêts et détruit par traction.

Une disposition ingénieuse fait en sorte que la navette qui fournit le fil redressé, laisse à celui-ci la faculté de reprendre la forme ondulée pendant qu'il se place entre les fils de la chaîne.

Rapport de M. Daguin sur le projet de loi relatif à la protection des noms commerciaux et à l'usurpation des récompenses industrielles, proposé au Sénat par M. Bozérian.

Sur la crémeuse centrifuge de M. Laval de Stockholm, par M. Hervé-Mangon.

Sur les gaz retenus par occlusion dans l'aluminium et le magnésium, par M. Dumas.

Sur la saccharine, par M. E. Peligot.

Note sur l'état actuel de l'industrie de l'asphalte, par M. Léon Malo.

Sur l'unification de l'heure à Paris, par M. le comte du Moncel.

Sur une lampe électrique automatique, par M. Jamin.

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES.

SEPTEMBRE 1880.

Étude sur l'appareil de M. de Caligny, installé à l'écluse de l'Aubois, par M. Vallès, inspecteur général honoraire des Ponts et Chaussées.

L'appareil a pour but de réduire la dépense d'eau des éclusées, il se compose de conduites en maçonnerie à section ovoïde et d'un bassin d'épargne dont la contenance peut être réduite aux deux tiers de la capacité du sas. Il est difficile de donner sans figures une description de ces dispositions; nous nous bornerons à donner les conclusions du rapport de M. Vallès.

1° L'appareil, indépendamment de toute considération relative à l'épargne de l'eau, peut être employé comme moyen rapide de remplir et vider un sas. Sous ce rapport il est préférable aux ventelles actuellement employées.

2° On peut, par son emploi, économiser 29 pour 100 de l'éclusée qui sera rejetée à l'amont, et une quantité sensiblement égale prise à l'aval quand on remplira l'écluse.

3° Si on veut réaliser une plus grande économie, on peut en augmentant le nombre des périodes de fonctionnement des tubes et en sacrifiant le temps à économiser 40 pour 100 de l'eau.

4° Avec un bassin d'épargne, on peut accomplir une opération de remplissage ou de vidange en six minutes au maximum et économiser 55 pour 100 du volume d'eau de l'éclusée, mais il faut que les bassins d'épargne soient bien étanchés et, par conséquent, leur construction devra être faite avec soin et sera nécessairement coûteuse. La convenance de les employer est donc une question à examiner dans chaque cas.

Notice sur les travaux d'agrandissement du réservoir de Panthier au canal de Bourgogne, par M. Bazin, ingénieur des Ponts et Chaussées.

Ce réservoir exécuté en 1832 ne contenait que 1,700,000 mètres cubes. On porta sa capacité à 8 millions en exhaussant la retenue de 6 mètres.

Les travaux comportaient trois groupes : la digue de retenue, la digue secondaire ou de ceinture, et la rigole de remplissage et ses ouvrages de prise d'eau.

La digue principale se compose à l'intérieur d'une série de gradins inclinés à 4 de base pour 3 de hauteur; à l'extérieur le talus est de 2 pour 1 avec des banquettes de 2 mètres espacées verticalement de 4 mètres. La digue se compose en plan de trois alignements ayant ensemble une longueur de 1,100 mètres. Le corps de la digue est formé d'argiles du lias comprimées et corroyées avec le plus grand soin.

La digue de ceinture limitant le réservoir a plus de 1,200 mètres de longueur; elle est formée d'un remblai de 4^{m},50 de largeur arrasé à 1^{m},50 au-dessus de la retenue et ayant son talus réglé à 2 pour 1.

La rigole de remplissage a pour section un trapèze de 2,50 de largeur au plafond, avec talus à 1 1/2 pour 1.

La dépense totale s'est élevée à 1,817,658 francs, dont 882,237 francs pour la digue principale, 244,040 pour la digue secondaire, 290,112 francs

pour la rigole de remplissage et enfin 101,168 francs pour les acquisitions de terrain, achat de matériel, indemnités, etc.

Les travaux, commencés en 1867 et interrompus par la guerre, ont été terminés en 1872.

Le réservoir a fourni en 1876-77-78, 18 millions de mètres cubes d'eau qui ont permis de donner, sans interruption, à la batellerie un tirant d'eau de $1^m,80$ au-dessus des buscs des écluses.

COMPTES RENDUS MENSUELS DES RÉUNIONS DE LA SOCIÉTÉ DE L'INDUSTRIE MINÉRALE

RÉUNION DE MONCEAU LES MINES, 10 JUILLET 1880.

Communication de M. DELAFOND sur les **chaudières à vapeur**. Cette communication répond à une question posée par M. Graillot, dans la réunion du 10 août à Montchanin, relativement à la réduction de l'épaisseur des tôles. M. Delafond conclut que, dans l'état actuel des choses, il n'est pas possible de dire d'une façon nette, qu'à telle épaisseur de tôle une chaudière doit être mise de côté. D'ailleurs les corrosions ne peuvent donner lieu qu'à des déchirures et non à des explosions proprement dites.

Communication de M. AYMARD, sur **le Boghead d'Autun.**

Communication de M. MARTIN, sur **la méthode de percement de galeries du capitaine Penrice.**

De nouveaux essais ont été faits avec la machine Penrice modifiée, mais ils ont donné des résultats peu satisfaisants à cause du temps considérable absorbé par les préparatifs d'installation de la machine entre deux avancements consécutifs, à tel point qu'il a fallu, dans plusieurs cas, jusqu'à deux jours pour faire un avancement de 2 mètres à $2^m,30$.

Chevalement en fer et machine d'extraction du puits Jules Chagot, à Blanzy. — Le chevalement est du type de Seraing et se compose de deux poutres verticales en treillis formant les supports d'avant, et de deux poutres en treillis inclinées dans deux sens pour former poussards. L'appareil est établi pour une double recette, la hauteur totale est de 25 mètres et le poids de 22,672 kilogrammes.

La machine, construite par la Société de construction mécanique d'Anzin, a deux cylindres de $0^m,750$ de diamètre et 1,600 de course avec distribution Sulzer, à 4 soupapes et régulateur Porter agissant sur la durée de l'admission.

Boulangerie mécanique des mines de Blanzy. — Cette boulangerie comporte 3 fours et deux pétrins mécaniques. L'installation revient à 27,000 francs. On a produit en juillet 55,000 pains de 2 kilogrammes. Le prix de revient est de 32 francs les 100 kilog. avec de la farine coûtant 39 francs.

On brûle 2 hectolitres de charbon pour 100 kilog. de pain.

RÉUNION DE SAINT-ÉTIENNE, 5 AOUT 1880.

Communication de M. IMBERT sur **la fusion des métaux par l'électricité.** — M. C. W. Siemens, a fondu des masses métalliques d'une certaine importance, au moyen d'un creuset en graphite, entouré d'une épaisse paroi réfractaire, et d'une baguette de charbon de 20 millimètres de diamètre, traversant le couvercle réfractaire du creuset. Celui-ci communique avec le pôle positif d'une machine dynamo-électrique, et la baguette avec le pôle négatif. La baguette est suspendue à l'un des bras d'un fléau de balance, dont l'autre bras porte suspendu un cylindre de fer glissant librement dans un solénoïde, et dont la partie inférieure chargée plonge dans un liquide pour modérer les oscillations causées par les variations trop brusques du courant; le solénoïde est actionné par une dérivation du courant principal.

Le métal à fondre est placé dans le creuset, et on règle l'appareil de manière que la baguette de charbon ne touche pas les fragments du métal.

Au passage du courant, le fer doux est soulevé dans le solénoïde, et la baguette vient toucher le métal à fondre. Il se produit de petits arcs voltaïques, dans la masse, et il s'établit un équilibre entre la résistance totale de ces arcs et l'action du solénoïde. Quand la résistance augmente dans le creuset, le solénoïde en dérivation augmente de puissance, le fer doux est soulevé et la baguette de charbon se rapproche du métal à fondre, et réciproquement.

Le creuset ayant été échauffé par une première opération, on a fondu en 4 1/2 minutes, 500 grammes d'acier provenant de limes; le courant étant produit par deux machines Siemens, modèle moyen, montées en quantité.

M. Imbert indique que 1 kil. de houille employé dans une bonne machine à vapeur et retransformé en chaleur dans l'arc voltaïque, ne produit que le tiers de la chaleur que représente le travail intérieur.

$$\frac{75 \text{ kilogr.} \times 3600}{3} \times \frac{1}{424} = 212 \text{ calories.}$$

au lieu de 7000 qu'il représente réellement.

La fusion au creuset électrique, exigerait donc $\frac{450}{212} = 2{,}12$ kilogrammes de houille, si on admet que pour fondre un kilogramme d'acier, il faut obtenir 1800 degrés et fournir 450 calories.

Comme on n'emploierait avec des fours à récupération que 1 kil. de houille, par kilogramme d'acier, la fusion électrique coûte 2,12 fois la fusion ordinaire.

Mais il n'en reste pas moins acquis que pour certaines applications, notamment pour de petites quantités, il y a là un procédé de fusion commode et pratique.

Communication de M. Imbert, sur **le chemin de fer électrique de Berlin**. — Ce chemin de fer en construction est un chemin aérien porté sur colonnes à 4m,50 au-dessus du niveau du pavé. Une machine magnéto-électrique, disposée en inversion, et portée sur le véhicule, reçoit par l'intermédiaire des roues, un courant qui circule dans les rails isolés convenablement l'un de l'autre, la poulie de la machine actionne un des essieux au moyen d'une courroie, et le conducteur ayant sous la main un commutateur et un levier de frein, est entièrement maître de la marche.

La très grande section des conducteurs électriques permet au courant d'actionner aussi énergiquemeut un wagon très éloigné de la source d'électricité que celui qui se trouve tout près.

Communication de M. Closson sur **la fabrication des briques de magnésie**.

Communication de M. Meurgey, sur **une pompe pulsométrique avec détente et condensation indépendante**. — L'auteur indique qu'avec cet appareil qu'il serait difficile de décrire sans l'aide de figures, 1 mètre cube de vapeur à 8 atmosphères élèvera théoriquement 1 mètre cube d'eau à 290 mètres ou 2.90 mètres cubes à 100 mètres. Le mètre cube de vapeur à 8 atmosphères pesant 3 kil. 94, si le charbon produit 7 kilogr. de vapeur et coûte 20 francs la tonne, le prix de revient du mètre cube élevé à 100 mètres, sera :

$$\frac{\frac{7}{3.94} \times 0,02}{2.90} = 0^{f},012.$$

On pourrait compter en pratique sur 0,015 à 0,018.

Analyse par M. Victor Deshayes du **Mémoire de M. Barba sur la résistance des matériaux**[1].

1. C'est le mémoire publié dans le Bulletin de juin 1880 de la Société des Ingénieurs civils.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ALLEMANDS.

5me *livraison de* 1880.

Des dimensions et du nombre des piles en pierre dans la construction des ponts de chemins de fer avec tabliers métalliques ; recherche de la solution la plus économique par M. Weiss, ingénieur à Brême.

Des moyens d'augmenter le trafic sur les chemins de fer par M. Krauss.

Sur la fabrication des rails en acier par M. Braun, ingénieur à Burbach.

Sur la fabrication de la soude par l'ammoniaque, par M. Kammerer, chimiste à Manheim.

Machine à vapeur, système Bernays.

Appareil de guidage à cinq branches articulées, par Hart.

Machines à vapeur rotatives.

Sur les moyens de recueillir l'huile de graissage, contenue dans la vapeur d'échappement.

Indicateur pour machines à grande vitesse.

Grille pour locomotives système Ross.

Four à réverbère pour la fusion des métaux, de Rupert.

Chauffage à l'anthracite des chaudières marines.

Four à porcelaine Siébert.

Four pour la cuisson des poteries, par Eisenecker.

6me *livraison de* 1880.

Des dimensions et du nombre des piles des ponts métalliques, par M. Weiss (*suite*).

Calcul de l'épaisseur des réservoirs cylindriques, par M. Bach à Stuttgard.

Du pesage de l'acier pendant sa coulée en lingots, par M. F. Moro à Kladno.

De la relation entre le prix des fers bruts et des fers laminés ; moyen simple à employer pour leur production simultanée dans de justes proportions par M. Zanden à Schovientochlowitz.

Sur la fabrication de la soude par l'ammoniaque (*suite*).

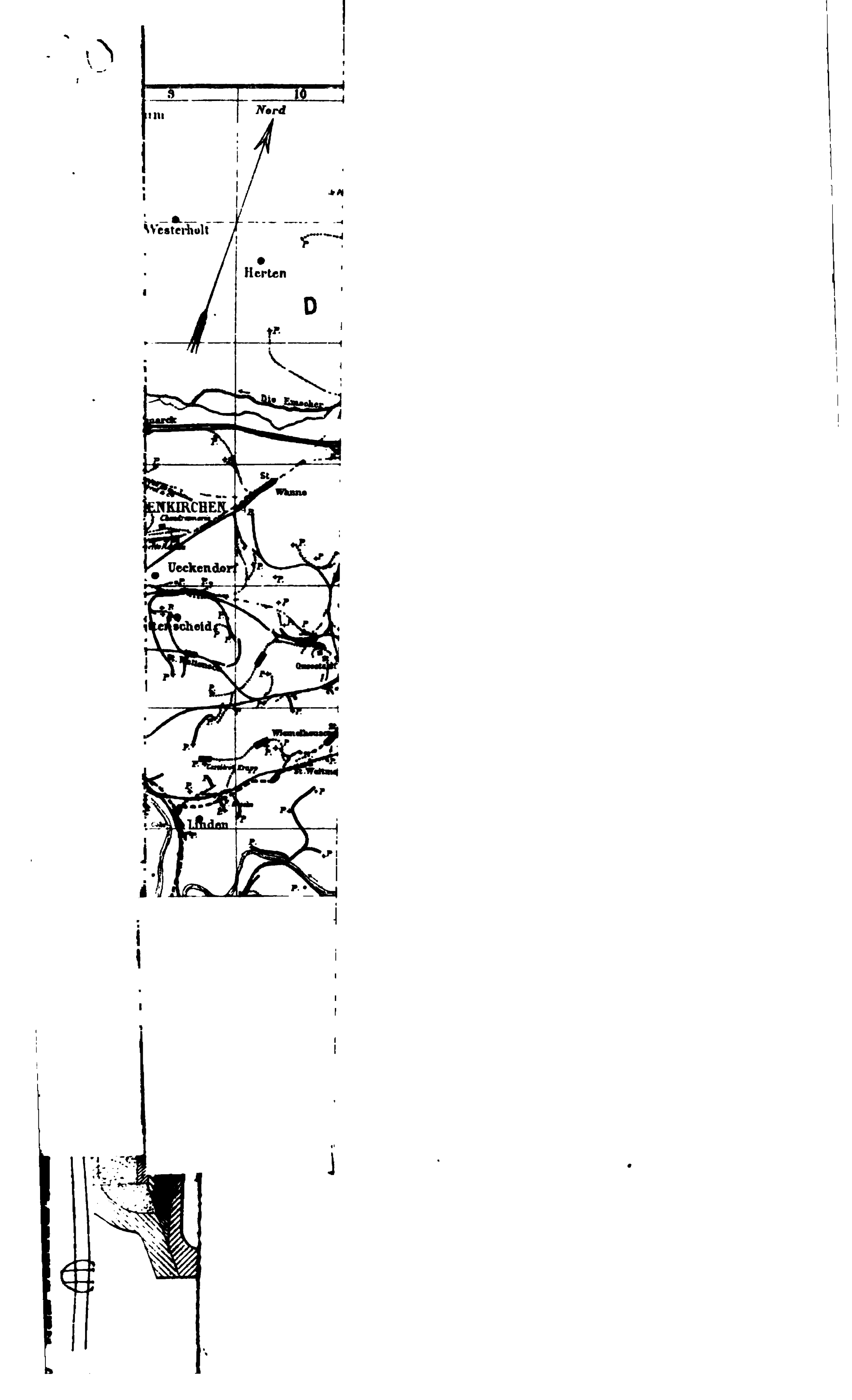
Appareil de levage pour matériaux de construction.

De l'usage du planimètre dans la construction navale.

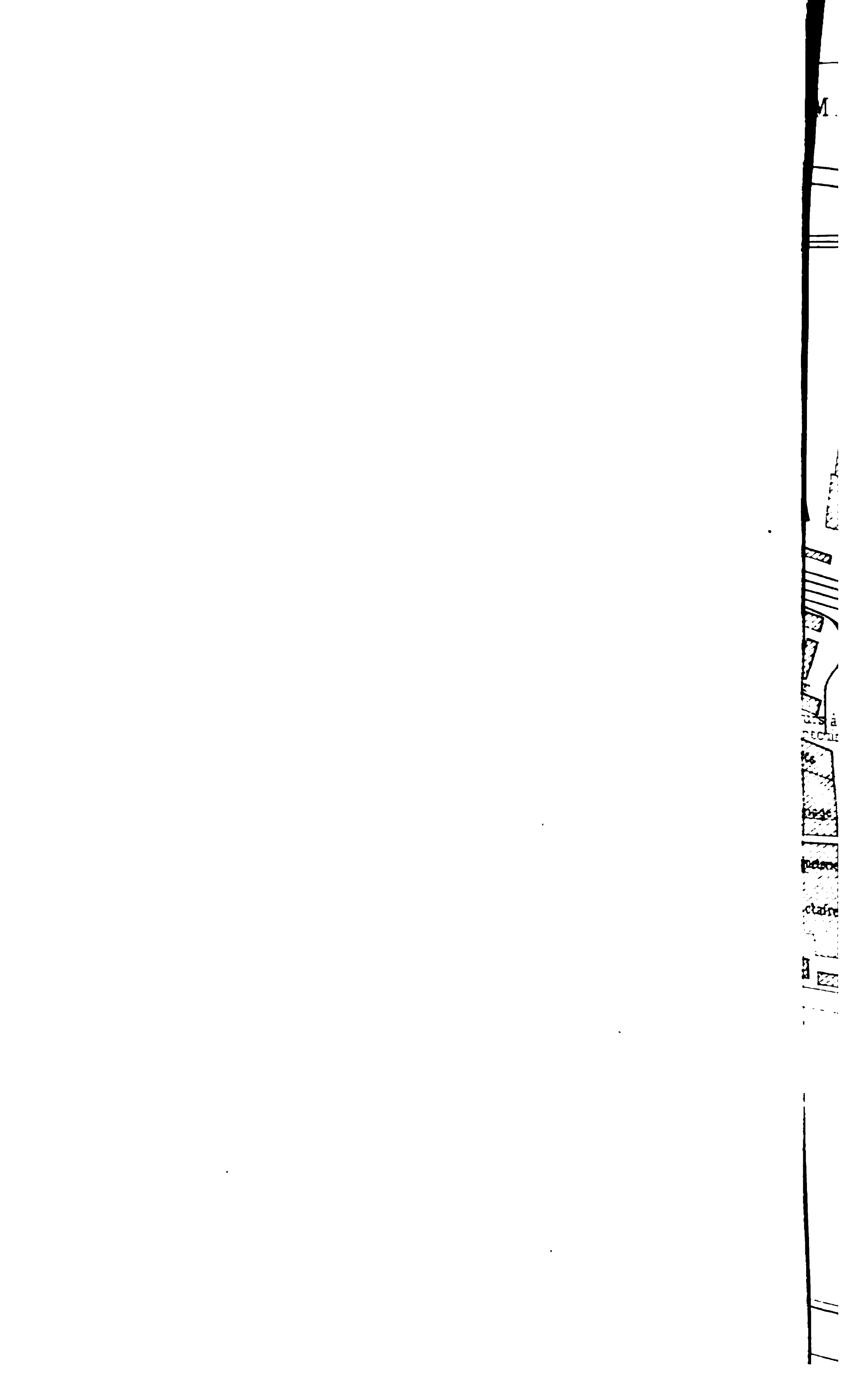
Le Secrétaire-Rédacteur,

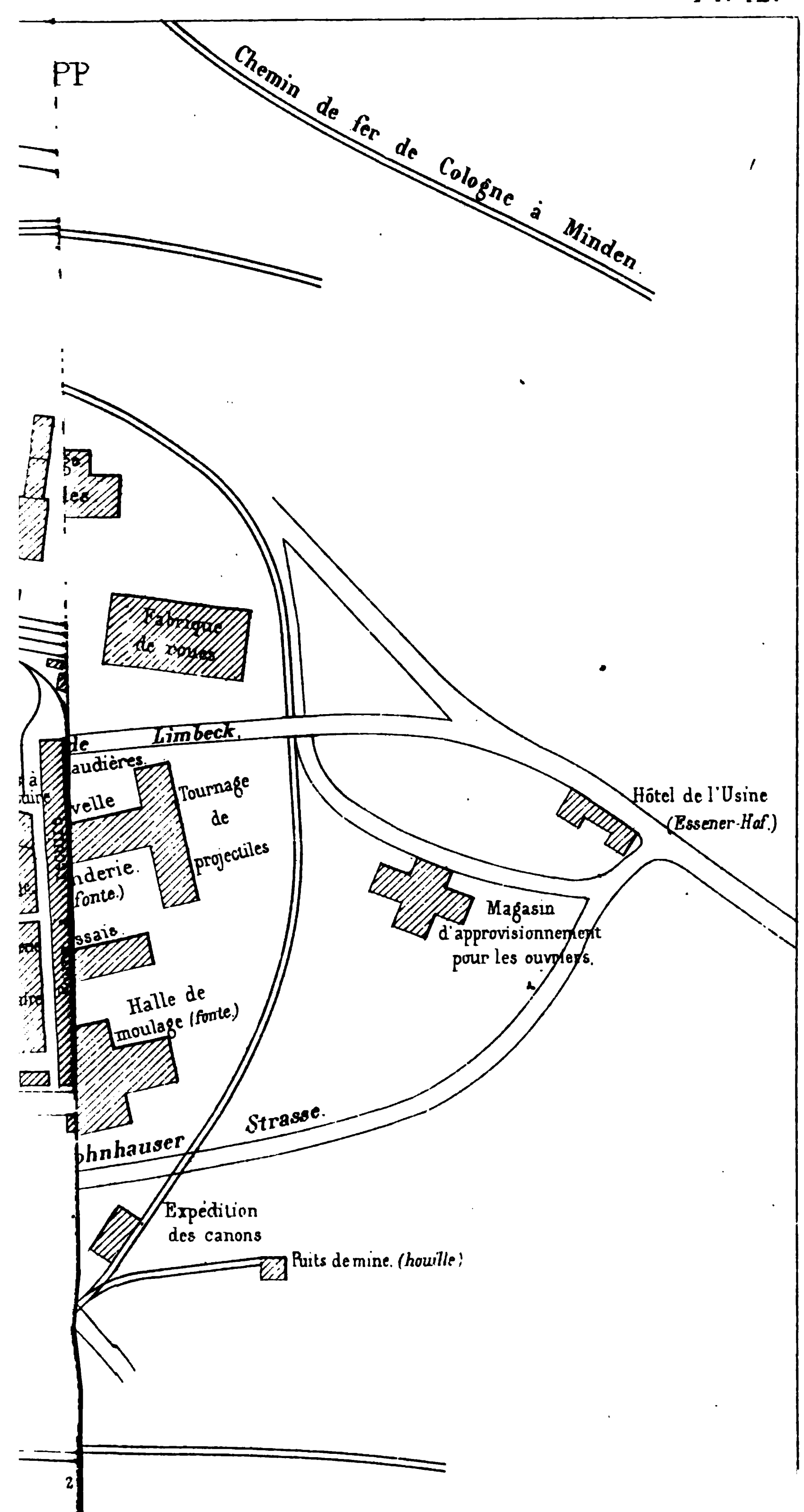
A. Mallet.

PARIS. — IMPRIMERIE E. CAPIOMONT ET V. RENAULT, RUE DES POITEVINS, 6.
Imprimeurs de la Société des Ingénieurs civils.



9
10
Nord
Westerholt
Herten
D
Die Emscher
ENKIRCHEN
Wanne
Ueckendorf
Linden




PP
Chemin de fer de Cologne à Minden.
Fabrique de roues
Limbeck.
Tournage de projectiles
Hôtel de l'Usine (Essener-Hof.)
Magasin d'approvisionnement pour les ouvriers.
Halle de moulage (fonte.)
Strasse.
Expédition des canons
Puits de mine. (houille)

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

NOVEMBRE 1880

N° 11

Pendant le mois de novembre les questions suivantes ont été traitées :

1° *Compte rendu du voyage à Vienne*, de MM. Demimuid et Herscher, délégués au Congrès des Ingénieurs et Architectes de Vienne, par M. Demimuid. (Séance du 5 novembre, page 484.)

2° *Extraction des vidanges, leur traitement et fabrication du sulfate d'ammoniaque.* (Communication de M. Faure-Beaulieu). (Séance du 5 novembre, page 491.)

3° *Décès* de MM. Ronssin et Rozycki. (Séance du 5 novembre, page 484.)

4° *Photophone Bell.* (Communication de M. J. Armengaud, sur le). (Séance du 19 novembre, page 513.)

5° *Chauffage et ventilation des monuments de Vienne.* (Communication de MM. Demimuid et Herscher). (Séance du 19 novembre, page 522.)

Pendant le mois de novembre la Société a reçu :

De M. Mathieu (Henri), membre de la Société, l'*Enquête sur les*

moyens de prévenir les accidents de chemin de fer. Réponse au questionnaire.

Une brochure ayant pour titre : *la Question des vidanges*, par M. Juillot.

De M. Ed. Collignon, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, la deuxième partie de son *Cours de mécanique appliquée aux constructions*.

De M. Ducher, éditeur, la première partie du *Cours de construction civile*, par M. Planat.

De M. Lommel, membre de la Société, une *Étude de la question de chaleur souterraine, et de son influence sur les projets et systèmes d'exécution du grand tunnel alpin du Simplon*.

Les Membres nouvellement admis sont :

MM. Angilbert, présenté par MM. Girardin, Gottschalk et Knight.
Barrouin, — Gautier, Gottschalk et Jordan.
Bonpain, — Anthoni, Chabrier et Gottschalk.
Buquet, — Gottschalk, Loustau et Mathieu.
Buchwalder, — Barrault, Cornuault et Jordan.
Clysenaer. — Gottschalk, Martin et Mathieu.
Harmet, — Gautier (Ferd.), Gottschalk et Jordan.
Jacqmin, — Barrault, Gottschalk et Mathieu.
Léon (Antoine), — Barrault, Gottschalk et Martin.
Léon (Louis), — Barrault, Gottschalk et Martin.
Lommel, — Colladon, Gottschalk et Mallet.
Montigny, — Carimantrand, Mallet et Martin.
Piedboeuf, — Barrault, Gottschalk et Martin.
Plazolles (de), — Barrault, de Comberousse et Demimuid.
Turettini, — Colladon, Gottschalk et Mallet.
Vrolik, — Gottschalk, Martin et Mathieu.

Comme Membre associé :

M. Delessert, présenté par MM. Gottschalk, Marché et Mayer.

CLOCHE A DÉROCHEMENT

construite pour le dérasement de la roche « La Rose »

DANS LE PORT DE BREST

PAR M. HERSENT.

Historique. — La nécessité d'enlever les roches sous-marines qui nuisent au libre passage des navires, a toujours été une grande préoccupation pour assurer la sécurité de la navigation, ou pour permettre de naviguer plus longtemps dans les ports à marée; aussi voit-on constamment citer les efforts des Ingénieurs qui s'occupent de cette difficile question du travail sous-marin.

Ce que nous connaissons sur ce sujet, remonte à la fin du dernier siècle, et nous pouvons citer une note de M. Coulonb, qui fut présentée à l'Académie de Rouen, et publiée en 1795. Cette note contient la description d'une machine à soufflets pour comprimer l'air dans une cloche à plongeur, destinée à extraire les roches qui gênaient la navigation, à Quillebeuf; cela paraît être le commencement des applications de l'air comprimé au travail sous-marin.

La cloche à plongeur du port de Rouen qui fut longtemps une curiosité, doit être le résultat de ces études; cette cloche a servi en 1825 et années suivantes, au dérasement des vieilles piles d'un pont qui existait autrefois en amont du pont suspendu actuel, et à divers autres ouvrages qui ont été plus complètement enlevés, il y a deux ans.

Avec le développement de la navigation, de nouveaux besoins se sont fait sentir sur divers points, tant pour enlever de petits obstacles que pour approfondir des ports ou des passes, pour enlever les batardeaux, etc.

La cloche de la Seine, construite par M. Cavé, vers 1840, fut une grande amélioration comparée à la vieille cloche en fonte, de Rouen;

elle permettait de descendre à 3 mètres de profondeur d'eau, et d'y travailler en communiquant à l'extérieur au moyen d'une écluse à air.

Moyens. — Le scaphandre qui devint un outil pratique, rendit aussi de grands services pour la reconnaissance des objets sous-marins, et on est parvenu à s'en servir assez habilement pour travailler sous l'eau, surtout pour amarrer des objets à lever ensuite.

Ensuite la drague et surtout la drague à vapeur vint au secours des Ingénieurs, pour l'enlèvement de roches qu'on faisait sauter avec la poudre, ou que les plongeurs disloquaient dans leur travail.

Les griffes ont été dans cet ordre d'idées des outils ayant rendu de grands services, et celles dont on s'est servi à l'extraction des pierres et des bois, ont été le point de départ d'instruments plus forts qui figuraient aux dernières expositions, comme ayant servi à débarrasser les fleuves de l'Amérique, des obstacles qui les encombraient.

Enfin les travaux de M. Triger, sur l'emploi de l'air comprimé, et l'expérience qu'on a acquise dans de nombreuses applications ont ouvert une nouvelle voie et fait entrevoir des moyens plus importants, pour attaquer avec succès les travaux sous-marins les plus considérables de quelque importance, qui font l'objet de cette note.

Travaux exécutés. — Parmi les travaux exécutés pour approfondir les ports dans ces derniers temps, on peut citer :

1° L'approfondissement du port du Croisic, en 1846, qui fut exécuté par M. de la Gournerie, et dont une description est faite dans les Annales des Ponts et Chaussées en 1848. L'appareil employé consiste dans un bateau, au milieu duquel se trouve une cloche ou chambre de travail, fermée dans la partie haute et ouverte dans le bas.

2° L'essai d'approfondissement du port Chantereyne, à Cherbourg, au moyen d'un appareil plongeur imaginé par le docteur Payernc, de Cherbourg, en 1846;

3° Le dérasement d'une partie de la Roche « La Rose », au port de Brest, qui fut exécuté en 1858, au moyen de touques de poudre, et dont les fragments cassés furent extraits au scaphandre, sous la direction des Ingénieurs de la marine. (Annales de la Marine, 1858.)

4° L'approfondissement de l'avant-port de Boulogne-sur-Mer, qui fut dragué, quoique beaucoup de roches de plus de 1 mètre cube de volume en aient été extraites. — 1865.

Parmi les batardeaux que j'ai vu démolir, on peut citer celui du bassin de radoub n° 7 du port de Brest, qui fut ruiné à l'intérieur du bassin, percé en galerie, au-dessous de la surface à déraser, et dont on fit sauter toute l'enveloppe à la fois, pour combler les vides faits dessous. — 1864.

Les blocs restés trop hauts à la partie supérieure, furent extraits à l'aide du scaphandre.

Si je suis bien informé, ce travail est le même que celui qu'on a exécuté depuis, sur une plus grande échelle, près de New-York, pour abaisser une roche de quelque importance, dont on a fait beaucoup de bruit, comme d'une innovation américaine très hardie.

Port de Brest. — Le port de Brest est établi dans une crevasse naturelle qui sert de lit à la Penfeld, qui coule du nord au sud, pour déboucher dans la rade. La profondeur d'eau à basse mer, varie de 8 à 12 mètres, mais cela sur une petite largeur, et la direction du chenal est très sinueuse, les navires sont complètement abrités contre tous les vents.

La roche La Rose, située sur la rive gauche, attenant à la pointe du château, est avancée dans le chenal de telle façon que les navires doivent faire une évolution de 90° pour l'éviter; et, pour cela, les gros navires stoppent et font l'évolution avec des remorqueurs et des amarres à terre, ce qui dépense beaucoup de temps et d'argent.

En 1878, M. le Ministre de la Marine mit au concours l'enlèvement de la roche La Rose, et une partie de dérochement pour favoriser l'entrée des navires dans le bassin n° 5.

Nos offres et nos moyens d'exécution furent acceptés.

L'entreprise comporte 17 à 18000 mètres cubes de rocher massif à extraire et 3 à 4000 mètres cubes de vase ou sable restés après dragage.

Aujourd'hui, à la fin de 1880, tout le travail est fini, et il a été exécuté au moyen des cloches spéciales que j'ai construites dans ce but.

Cloche. — Pénétré de la nécessité de créer un outil nouveau pour permettre de faire des travaux de dérochement sous l'eau, j'ai recherché la forme et les conditions d'exécution pour réunir la solidité, la

sécurité des travailleurs à un prix de revient qui permette d'entreprendre sans arrière-pensée, nombre de travaux utiles restés en souffrance faute de moyens pratiques.

L'étude de la cloche remonte à 1866, et fut faite avec la collaboration de M. Castor[1], pendant que nous faisions les dragages de roches à l'avant-port de Boulogne-sur-Mer.

La cloche construite en vue du dérasement complet de la roche « La Rose » au port de Brest, diffère peu de la première étude, au moins comme principe ; j'ai pu, avec cette cloche, exécuter du dérochement de pierres dures et massives, schistes mêlées de quartz, du granit, etc., avec les prix au mètre cube mesuré sur profil de 62f,50 et 10 francs pour la vase et les autres terrains non rocheux ; c'est là un premier résultat que je considère comme très important, parce qu'il est un grand progrès sur ce qui avait été fait jusqu'à présent, et qu'il consacre la valeur de l'outil employé.

Description de la cloche de Brest. — La cloche plongeante est une grande caisse en fer de 8 mètres de largeur sur 10 mètres de longueur, haute de 7 mètres, divisée dans sa hauteur par un diaphragme hermétique, qui fait de la partie inférieure une chambre séparée, spéciale pour le travail, et de la partie supérieure un ballon destiné à soulever le tout pour le déplacement et le transport.

Au milieu du diaphragme, et traversant la partie supérieure, il y a une tour circulaire qui s'élève au-dessus du flotteur, jusqu'au-dessus du niveau ordinaire de l'eau de haute mer, et terminée à sa partie supérieure par une plate-forme qui sert à recevoir les travailleurs et les agrès nécessaires des diverses manutentions.

L'intérieur de la tour est muni d'un escalier qui facilite l'accès du haut en bas et vice versa. Au bas de la tour sont les écluses pour l'introduction des hommes et des choses, de l'air libre à l'air comprimé.

Deux cheminées spéciales traversent toute la cloche de bas en haut, pour laisser passage aux déblais.

Sur la plate-forme supérieure, au-dessus des cheminées spéciales, sont installées les écluses pour le déblai avec les treuils d'élévation et les autres accessoires. Les sas à déblai sont au-dessous de la plate-forme supérieure, et déversent les produits de l'extraction sur un

1 M. Castor, décédé en 1874, faisait partie de la Société.

plancher intermédiaire, d'où on les jette dans les bateaux destinés au transport.

Pour satisfaire au travail économique, pour les diverses profondeurs, les cheminées centrale et d'extraction sont composées d'anneaux égaux de 1m, 1m,25, 2m, 2m,50, correspondant à 1/2 ou un tour d'escalier. — On peut donc raccourcir ou allonger sans rien modifier, et en peu de temps; pour cela, on lève toute la plate-forme supérieure avec une mâture, et on fait au-dessous la modification utile en peu de temps.

Charge. — La cloche de 80 mètres carrés de surface à la base, comporte dans la construction un poids en fer pour ses enveloppes, cheminées, écluses à air, etc. d'environ . . . . 100 tonnes.

La maçonnerie exécutée entre les contre-fiches dans la chambre de travail et entre les poutrelles du plafond à la base du flotteur, environ . . . . 200 —

Lest en gueuses rangées dans les espaces libres de la chambre de travail, environ. . . . . 30 —

Total de la charge . . . . 330 tonnes.

Déplacement. — Au moment du levage, le flotteur est vide, son déplacement et celui des parties inférieures de la maçonnerie font environ 450 mètres; comme conséquence, le flotteur émerge au-dessus de l'eau d'environ 1m,50.

A flot, la cloche est enfoncée dans l'eau d'environ 5m,50.

Répartition des charges. — Lorsque la cloche repose sur le sol, et que le flotteur est rempli d'eau, elle pèse environ 280 tonnes à répartir sur le tranchant qui a 36 mètres de longueur développée, ce qui fait environ 8 tonnes par mètre de tranchant ou une charge insignifiante; mais si la charge de 280 tonnes repose sur seulement 2 mètres de tranchant, ce qui peut arriver, alors chaque mètre porte 140 tonnes, ce qui fait environ 10 kilogrammes par millimètre carré, à la compression.

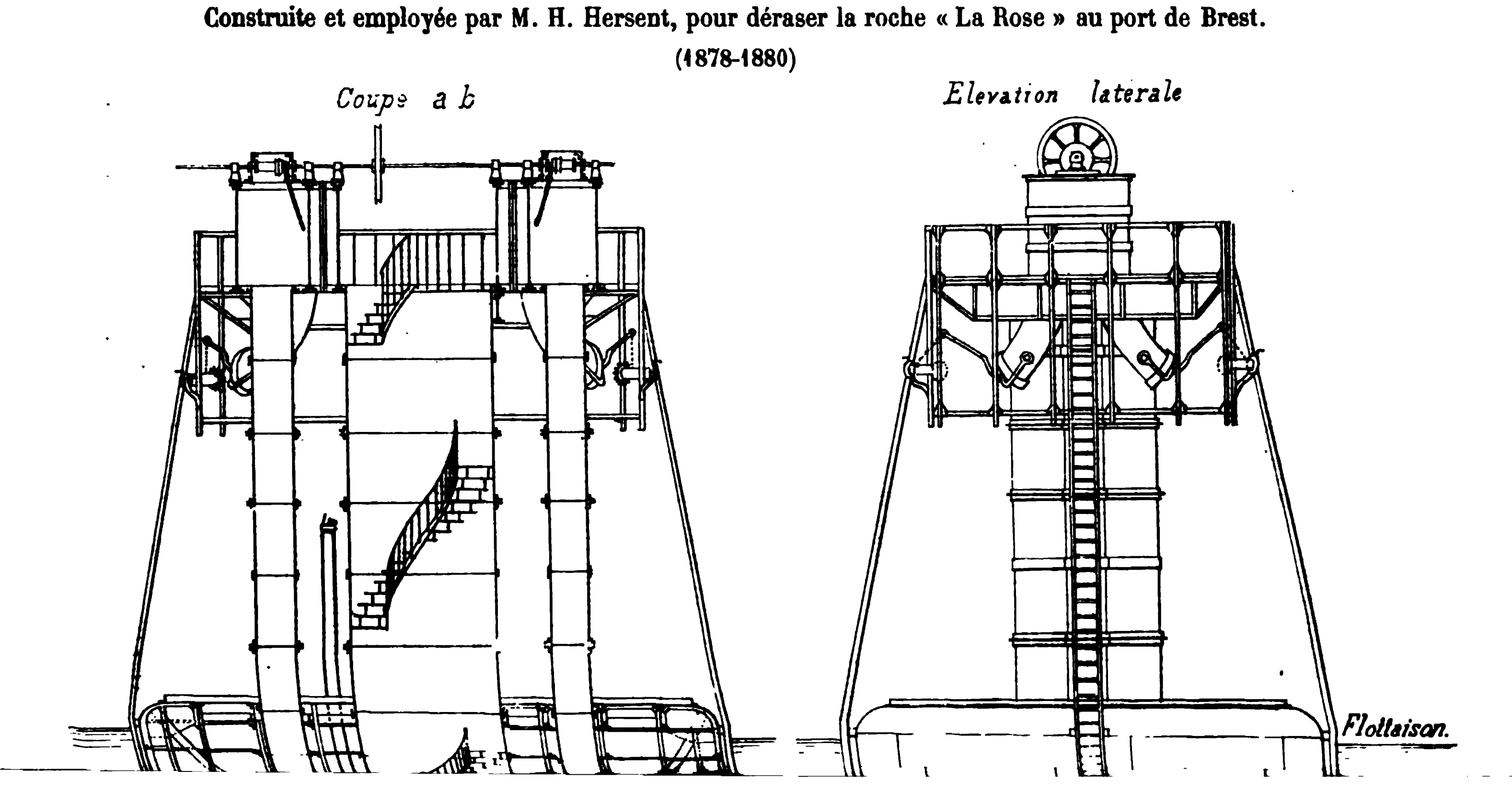
Dans la pratique, nous avons eu un tranchant détérioré pour avoir talonné de travers sur une roche; depuis lors, tout s'est bien comporté.

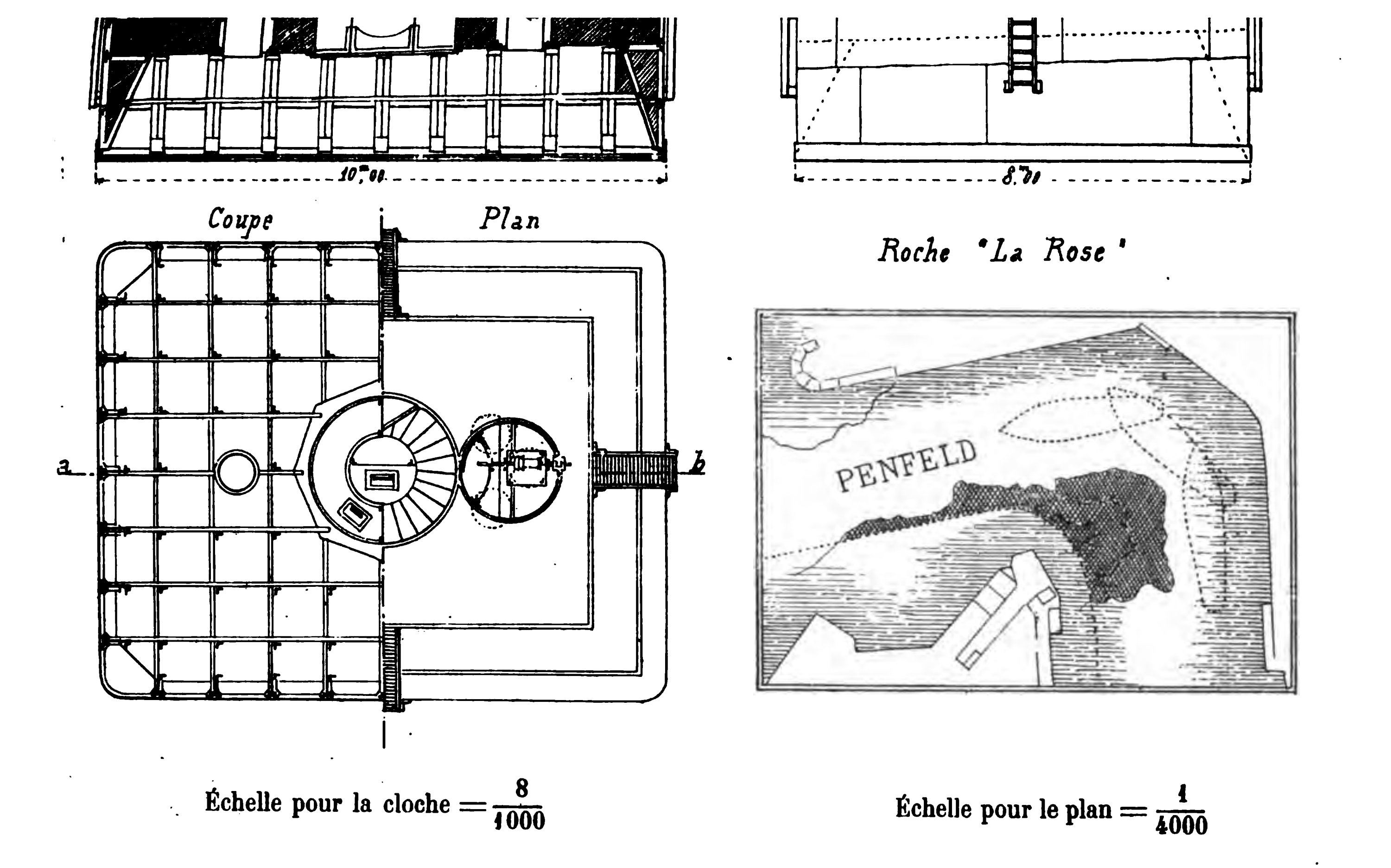
Stabilité. — La stabilité de la cloche est excellente lorsqu'elle repose sur le sol; nous avons eu de grosses houles qui n'ont rien dé-

CLOCHE A DÉROCHEMENT

Construite et employée par M. H. Hersent, pour déraser la roche « La Rose » au port de Brest.

(1878-1880)





Échelle pour la cloche $= \frac{8}{1000}$

Échelle pour le plan $= \frac{1}{4000}$

rangé; lorsque la cloche est levée, sa stabilité est également bonne à raison de la position qu'occupe le lest à la partie inférieure.

La stabilité ne laisse à désirer qu'au moment où le flotteur est à moitié plein d'eau, c'est-à-dire au moment du levage ou de l'immersion, l'eau peut se porter d'un côté ou de l'autre, et fait pencher l'appareil, un peu de soin suffit en général pour écarter cet inconvénient momentané, facile à corriger.

Manipulation. — Telle qu'elle est décrite, on comprend que la cloche flotte, et que dans cet état on peut la conduire où on veut; la plate-forme supérieure du flotteur est munie de treuils qui permettent de la mettre aussi exactement que possible en place, soit sur des alignements pris à terre, soit sur des mesures prises du fond ou d'une position précédente.

Lorsque la cloche est fixée flottante à la place désignée pour son immersion, on la coule, en ouvrant des vannes latérales au flotteur qui permettent à l'eau d'entrer dans cette capacité; les deux vannes ont chacune $0^m,15$ sur $0^m,18$ et permettent d'immerger la cloche en 10 ou 12 minutes; généralement, on choisit le moment de basse mer pour immerger la cloche, afin que l'opération dure moins longtemps avant de toucher le fond.

Pour lever la cloche, on introduit de l'air comprimé dans le flotteur, pour en faire sortir l'eau, d'abord celui qui est contenu dans la chambre de travail, puis celui que produit la machine d'alimentation, afin de gagner du temps, puis on ferme les vannes de communication.

Pour cet usage, les vannes sont à la partie inférieure du flotteur, afin de permettre d'expulser toute l'eau contenue dans le flotteur.

Sécurité. — La partie supérieure du flotteur est munie de deux soupapes de sûreté, qui sont toujours ouvertes quand la cloche est immergée, afin de laisser sortir les bulles d'air comprimé qui peuvent passer à travers le plafond ou les murailles, à mesure qu'elles peuvent y pénétrer; ces soupapes sont seulement fermées quand on lève la cloche.

Travail. — La partie inférieure de la cloche qui compose la chambre de travail, ressemble à un caisson ordinaire de fondation, elle a

2 mètres de hauteur sous le plafond, l'eau en est expulsée par de l'air comprimé. — L'éclairage y est fait avec des bougies de stéarine ou mieux avec l'électricité, procédé Jablockoff, qui fournit une excellente lumière permettant de désagréger le rocher comme on le ferait dehors.

Les écluses de communication sont installées à la partie inférieure de la tour centrale, et on y accède du haut par un escalier tournant qui en rend l'accès commode; il y a 3 écluses, dont 2 grandes pouvant contenir 15 ouvriers chacune, et une petite au milieu pour permettre la visite sans passer par les grandes écluses, qui sont constamment ouvertes du côté où sont les travailleurs.

Pour bien asseoir la cloche sur le sol et permettre de travailler à dérocher, on dégage sous le tranchant tout au pourtour d'abord, puis on pratique des trous de mine comme dans une carrière; on charge les mines avec des cartouches de fulmi-coton, de préférence aux autres explosifs, parce que le fulmi-coton fait beaucoup moins de fumée que la poudre et ne dégage pas de gaz nitreux comme la dynamite.

Pour le tirage de la mine, les hommes montent dans l'écluse et prennent ordinairement la précaution de mettre une fascine sur la charge; on peut même tirer des petits pétards tout près du tranchant, sans inconvénient.

Lors de l'échouage de la cloche sur le sol, il arrive souvent que le sol n'est pas horizontal et qu'on doit faire un joint provisoire pour faciliter le refoulement de l'eau par l'air comprimé; ce joint est ordinairement fait avec des sacs de sable et de l'argile grasse corroyée, et permet d'asseoir plus vite la cloche sur le sol.

Le tirage des mines dérange quelquefois ce joint, un peu de terre grasse suffit pour le rétablir en peu de temps.

La position de l'écluse à la partie inférieure se recommande ici en ce sens que le travail de montée et de descente se fait sensiblement comme dehors et que l'installation le permet.

Nous croyons même que l'obligation de monter l'escalier après la sortie de l'air comprimé a exercé sur les ouvriers une action salutaire, et écarté une partie des congestions que l'on contracte souvent à la sortie de l'écluse; cette petite gymnastique remet les fonctions en équilibre et nous n'avons eu que fort peu d'indispositions chez les ouvriers occupés à Brest et à Cherbourg, quoiqu'il y en ait là qui travaillent régulièrement depuis plus de deux ans dans l'air comprimé, 10 heures par jour.

Les déblais sont élevés à la partie supérieure par deux cheminées spéciales, au-dessus desquelles il y a aussi deux écluses spéciales pour les sorties du dehors ; l'écluse à déblais est composée d'un grand cylindre de 1m,70 de diamètre et 2 mètres de hauteur, dans lequel il y a une éclusette pour l'entrée des hommes ; à la partie supérieure, il y a un treuil à embrayage par frictions, mis en mouvement du dehors, au moyen duquel un ouvrier peut enlever les bennes chargées à la partie inférieure.

Ces déblais sont versés dans des éclusettes à déblais, placées au-dessous de la chambre principale, ce qui évite la fatigue pour l'ouvrier dans l'air comprimé.

Les éclusettes se ferment de l'intérieur et ouvrent au dehors ; quand elles sont pleines, un signal suffit pour que l'ouvrier du dehors ouvre le robinet pour l'expulsion de l'air comprimé, et se rende compte que l'éclusette est bien fermée à l'intérieur, pour ouvrir la porte qui laisse sortir le contenu (0m,40 ou environ 0m,25 massif à chaque fois) ; chaque écluse est munie de deux éclusettes, de sorte que le travail de montage peut être continu.

Les écluses d'extraction avec leurs treuils, permettent de sortir autant de déblais que le travail inférieur en peut produire, c'est-à-dire, 40 à 50 mètres cubes environ par 24 heures.

Dans la 1re cloche construite, j'avais imaginé de faire une écluse continue pour l'extraction des déblais ; dans ce but, j'ai fait des cheminées en acier bien calibrées, et fait circuler une chaîne sans fin, munie de plateaux garnis fermant hermétiquement sur lesquels on déposait le déblai en bas, pour le recevoir à l'extérieur en haut ; après l'essai, on a craint de voir quelques accidents se produire et on y a renoncé ; cette idée sera à reprendre dans d'autres circonstances, surtout lorsqu'on aura moins de hauteur de cheminées.

Dispositions générales. — Dans l'exécution du travail de dérochement, on procède par coiffements successifs, et par arrasements horizontaux ; la hauteur qu'on préfère est 1 mètre à 1m,30 qu'on creuse comme un fonçage, puis on va plus loin, faire un autre trou à la même profondeur, en laissant entre les deux, un espace qui sera couvert par une 3e position qui n'aura que deux côtés à couper sous le tranchant, pour faire descendre la cloche et effectuer le déblai.

Après avoir fait une rainure sur la longueur du dérochement, on en fait une autre en laissant entre les deux, un espace un peu plus petit que la largeur de la cloche, pour le prendre après coup et l'amener au niveau exact du dérasement; de cette façon, on est sûr que le dérasement est exact et qu'il ne reste rien au-dessus du fond qui a été déroché.

Air comprimé. — L'air comprimé est fourni à la cloche, au moyen d'un compresseur installé à terre et mis en mouvement par une machine de 20 chevaux. La conduite d'air flotte sur l'eau et est composée de parties alternatives de tuyaux en caoutchouc ou en fer pour suivre les oscillations de la marée; un seul compresseur à 2 cylindres, avec rafraîchisseur, suffit à l'alimentation de la cloche en temps ordinaire. Pour refouler l'eau plus vite et pour compenser les pertes, on emploie deux compresseurs pour la 1re période.

Prix de revient. — Les premières expériences faites à Brest, ont démontré qu'à raison du prix de 62f,50 environ, ce travail pouvait être exécuté sans danger de perte pour l'entreprise, quand tout est bien organisé et que l'on est parvenu à régulariser la marche de tout l'ensemble.

A raison de la situation spéciale de travail au milieu de l'eau, qui oblige à un service de transport, qui coûte et prend du temps;

A raison des machines à entretenir pour l'air comprimé et l'élévation, qui pèsent sur la production;

A raison des dépenses d'appareil et d'entretien, de frais généraux très importants, et enfin du prix plus élevé de la main-d'œuvre, dans l'air comprimé, ce travail sera toujours d'un prix élevé; mais comme ce prix ne s'applique qu'à l'objet qu'on touche, nous croyons qu'il est *relativement bon marché* et, que tant au point de vue de la possibilité de faire un travail difficile sous l'eau, que pour la dépense, l'outil nouveau a justifié son utilité, et prendra sa place dans l'arsenal des travaux maritimes, où il rendra de grands services.

Utilisation générale de la cloche. — La cloche, qui a fait ses débuts par le dérochement de la roche « La Rose » à Brest, n'est pas seulement un outil spécial à la démolition du rocher, elle peut aussi être un instrument de construction et son emploi peut permettre de nettoyer le sol sous l'eau, d'y exécuter des maçonneries, poser du bé-

ton, poser et sceller des anneaux, préparer la base pour poser des blocs; et mille choses dont l'utilité ne peut pas encore venir à notre imagination.

C'est l'outil qui permet d'exécuter des fondations sous l'eau, sans y laisser le fer des caissons, ce qui n'empêchera pas que pour quelque temps encore, on fera des caissons en fer à noyer avec la maçonnerie dans le sol.

NOTE

SUR

UNE SUSPENSION PERFECTIONNÉE

DU SYSTÈME DE M. DELESSERT

PAR M. JULES MORANDIERE

Les dispositions qui tendent à adoucir le mouvement des véhicules sont de deux natures : les unes s'appliquent aux ressorts placés entre l'essieu et la voiture, les autres cherchent à améliorer l'élasticité des banquettes ou coussins. C'est dans cette deuxième catégorie que se range l'amélioration introduite par M. Édouard Delessert.

Parmi les divers moyens employés jusqu'à ce jour dans les véhicules de chemins de fer, on peut citer par exemple : les sommiers à ressorts à boudin mis sous les coussins (C[ie] d'Orléans), les cônes en caoutchouc (C[ie] de l'Ouest), ou les ressorts en lames d'acier (C[ie] du Nord) disposés sous la banquette qui supporte les coussins. Ces divers palliatifs demandent à être réglés judicieusement ; trop mous, ils donnent au voyageur un mouvement oscillatoire vertical désagréable ; trop durs, ils agissent comme une raquette. Or, il est d'autant plus difficile d'obtenir un bon règlement qu'il entre dans la question un élément essentiellement variable, c'est le degré de bonté de la voie sur laquelle le véhicule est appelé à circuler.

La question est donc très complexe, et en général la tendance est d'augmenter la souplesse le plus possible. Mais alors le résultat est de soumettre le corps du voyageur à des oscillations verticales amples et

répétées, auxquelles les pieds ne participent pas, et il s'ensuit à la longue une fatigue excessive de la rotule du genou.

C'est à faire disparaître cet inconvénient que s'est attaché M. Delessert, et, dans ce but, il a rendu le plancher solidaire de la banquette sur laquelle repose le coussin; le tout constitue une carcasse mobile, qui est posée sur des ressorts de forme et nature quelconques, et qui joue dans l'intérieur du compartiment. La planche 13 représente plusieurs spécimens d'applications faites à divers véhicules. L'expérience a prouvé qu'on avait réalisé ainsi une double amélioration : *Suppression de la fatigue du genou et absence presque complète de trépidation pour les pieds.*

La Compagnie des chemins de fer de l'Ouest, dont M. Delessert est l'un des administrateurs, a monté le nouveau système dans un compartiment de 2e classe. Les ressorts de ces véhicules, intermédiaires entre ceux de la 3e et de la 1re classe, ont une flexibilité de 8 à 9 centimètres par mille kilogrammes.

Pour faciliter la comparaison pendant le trajet, la partie mobile occupait à peu près la moitié du compartiment et comprenait seulement quatre places : le reste du compartiment avait été laissé dans l'état ordinaire. En examinant la figure spéciale (planche 13), on remarquera qu'il n'existe de menottes que d'un seul côté : du côté opposé, la carcasse mobile est attachée directement au ressort ; le but de cette disposition est d'éviter toute oscillation dans le sens de la longueur. Les demi-ressorts employés avaient chacun 3 lames de $0^m,035 \times 0^m,005$, dont la plus longue avait $0^m,36$; la flexibilité étant d'environ 9 centimètres par 100 kilogrammes. Malgré cette grande flexibilité, les mouvements verticaux, pendant la route, ont une amplitude de quelques millimètres seulement, et n'atteignent que très exceptionnellement 1 centimètre.

Sur le même dessin, relatif à la voiture de 2e classe de l'Ouest, on aperçoit, à la partie supérieure du dossier, un bourrelet en caoutchouc; ce dernier peut venir porter sur la paroi fixe du compartiment lorsque la charge est inégalement répartie, et on évite ainsi les coincements qui pourraient se produire.

La suspension nouvelle permet de diminuer, dans une certaine proportion, la quantité d'acier à ressort à faire entrer dans la construction

d'une voiture. En effet, d'une part, les ressorts placés directement au-dessus des essieux peuvent être beaucoup moins flexibles ; d'autre part, les ressorts mis à l'intérieur de la caisse peuvent être établis en comptant sur un travail beaucoup plus près de la limite et beaucoup plus considérable que pour les ressorts ordinaires, puisqu'une rupture des ressorts intérieurs est sans aucune conséquence, tandis qu'on a vu des accidents produits par suite de la rupture des ressorts attachés aux boîtes de graissage.

Le poids supplémentaire, dû à l'adoption du système, peut s'évaluer à 150 ou à 200 kilogrammes suivant la classe du compartiment sur lequel on opère. Des applications en cours d'exécution, sur plusieurs véhicules de la Cie de l'Ouest, permettront d'ailleurs d'être plus entièrement fixé à cet égard.

La première idée de cette suspension est venue à M. Delessert, pour les voitures de terre, et c'est là aussi que les premières expériences ont été faites. Depuis lors, plusieurs voitures, *coupés*, *landaus*, *victorias*, ont été munies du système par M. Quénay, ingénieur, associé de la maison Binder aîné, dans ses ateliers de l'avenue du bois de Boulogne.

La planche 13 représente les dispositions adoptées : on remarquera dans le bas du landau, une bielle, articulée à l'une de ses extrémités sur une pièce dépendante de la partie fixe, et boulonnée à l'autre bout sur la partie mobile, avec interposition d'une rondelle de caoutchouc permettant les jeux. Le but de cet arrangement est de combattre la tendance aux déplacements longitudinaux, but obtenu dans la voiture de 2e classe de l'Ouest par la suppression de l'une des paires de menottes, comme nous l'avons déjà dit plus haut.

L'application du système peut évidemment se faire aux tramways, aux omnibus, etc.

On émet souvent le desideratum de voir atténuer les chocs latéraux, souvent violents, que l'on ressent dans les voitures de terre. Il faudrait alors interposer entre la caisse et les essieux un ensemble de ressorts permettant le jeu latéral, et ce jeu devrait être au moins aussi important que le jeu vertical. Jusqu'à ce jour, personne n'a songé à exécuter une

telle disposition qui modifierait profondément les modèles usités pour les voitures ; mais, si nous supposons cette amélioration réalisée, alors le système de M. Delessert, muni de ressorts horizontaux, se présente comme un adjuvant utile de l'autre perfectionnement.

En résumé, la suspension intérieure de M. Delessert améliore la douceur des véhicules, et fait disparaître la trépidation des pieds, si fatigante dans les longs voyages.

NOTE

SUR DES PROCÉDÉS RÉCENTS

DE

CHAUFFAGE ET DE VENTILATION

OBSERVÉS PAR

MM. DEMIMUID et HERSCHER

Délégués par la Société auprès du Congrès des Ingénieurs et Architectes de l'Autriche

PAR M. **HERSCHER.**

A la dernière séance, notre collègue, M. Demimuid, en son nom et au mien, vous a résumé l'intéressant voyage que nous avons fait ensemble à Vienne, le mois dernier, comme délégués de notre Société, auprès d'un congrès organisé par la Société des Ingénieurs et Architectes d'Autriche.

Parmi les points qui devaient appeler notre attention, les installations de ventilation et de chauffage des édifices nous étaient signalées comme particulièrement remarquables.

Déjà, notre Président, dans son discours d'inauguration, en janvier dernier, recommandait à nos études les beaux travaux exécutés à Vienne dans cet ordre d'idées ;

Et, tout récemment encore, M. Émile Trélat, dont vous connaissez la compétence, citait ici, avec éloge, la ventilation du théâtre de l'Opéra de la grande et belle ville que nous venons, à notre tour, de visiter avec intérêt et profit.

Notre attente elle-même a été dépassée ; nous avons vu beaucoup de choses, et parmi elles plusieurs excellentes, qui mériteraient de vous être exposées en détail.

Nous nous proposons, tout au moins, de caractériser sommairement ce qui nous a le plus frappés ;

Puis, nous nous arrêterons davantage sur l'admirable installation de l'Opéra de Vienne.

Ainsi que vous le savez, bien des éléments influent sur la valeur vraie d'une installation de chauffage et de ventilation :

Les conditions climatériques — les matériaux employés dans les constructions — l'aménagement des locaux — leur occupation permanente ou périodique — leur utilisation diurne ou nocturne — l'importance relative des établissements même — toutes conditions combinées différemment, suivant les lieux et les circonstances ; et qui font qu'aucun système de chauffage et de ventilation ne peut prétendre, à lui seul, satisfaire à tous les cas.

Quant on veut apprécier une installation quelconque, il faut tenir compte de ces diverses considérations. On doit même, en outre, faire intervenir bien d'autres facteurs encore, y compris nécessairement les exigences spéciales de l'hygiène.

Pour rester dans les limites du présent compte rendu, nous croyons devoir dès tout de suite indiquer ce qui nous a paru le plus intéressant, parmi les procédés récemment appliqués à Vienne avec succès.

En voici l'énoncé succinct :

Outre le maintien de l'usage si efficace de murs épais en briques, de doubles fenêtres et de doubles portes, nous citerons :

— Comme système de distribution de chaleur, le chauffage à vapeur;

— Comme appareil d'utilisation, les surfaces de chauffe établies dans les locaux mêmes, au bas des parois refroidissantes, et plus spécialement dans les embrasures des fenêtres.

Maintenant, au point de vue de la ventilation, nous signalerons, comme un idéal dont on cherche à se rapprocher à Vienne — l'introduction de l'air pur près des individus ; et l'évacuation de l'air vicié loin d'eux, au moyen d'orifices réservés dans le haut des salles.

Enfin, nous avons constaté une préférence marquée pour les moyens mécaniques propres à la mise en mouvement de l'air de ventilation [1].

1. Il ne s'agit ici, bien entendu, que des édifices proprement dits ; car rien d'analogue ne se trouve dans les habitations particulières, où aucunes dispositions en général, ne sont réservées pour favoriser la ventilation. On ne remarque, en effet, dans les appartements de Vienne, que fort peu de foyers ouverts, et très généralement que des poêles en faïence, chauffant bien, assurément, construits avec soin, mais qui ne sont pas même disposés de manière à permettre une certaine émission d'air pur, propre à contribuer au renouvellement d'air nécessaire à la santé.

Nous devons, du reste, reconnaître que nous n'avons entendu personne se plaindre ma-

A priori, ce court énoncé peut ne pas frapper ; et cependant, nous croyons bon d'y arrêter l'attention des membres de la Société ; car cet énoncé comprend un groupe d'éléments concordants qui nous paraissent constituer un progrès en avant très marqué.

Des faits concluants justifient d'ailleurs ces tendances.

Nul ne conteste, du reste, que si on pouvait imaginer une salle à parois maintenues toujours convenablement chaudes, et dans laquelle salle il serait possible de fournir directement à chaque individu, tout près de lui, sans courants sensibles, l'air pur nécessaire — air pur n'ayant plus besoin en hiver que d'être peu chauffé — nul ne conteste, disons-nous, que ce serait l'idéal.

Et comme, quoi qu'on fasse, ainsi que Tyndall, notamment, l'a démontré, chaque individu donne toujours lieu à un courant ascendant d'air vicié, cet air vicié devrait — dans notre hypothèse idéale — évidemment être évacué rationnellement par le haut de la salle, dans le sens de la ventilation naturelle.

Eh bien, cet idéal est réalisé !

Il est réalisé par la combinaison judicieuse des éléments énumérés plus haut : surfaces de chauffe dans les salles mêmes, partout où il y a des déperditions — air pur introduit très peu chauffé et près des individus — air vicié évacué par le haut ;

Tout est là.

Il faut reconnaître pourtant que, en pratique, ces données se trouvent bien rarement réalisables dans leur ensemble ; mais encore est-il intéressant de savoir que diverses applications plus ou moins complètes, existantes, ou qui vont se poursuivre, témoignent de la valeur des principes ci-dessus formulés. Non seulement, la plupart des nouveaux monuments de Vienne, chacun dans une mesure particulière, seront installés dans ce sens ; mais encore, à l'école des Beaux-Arts de cette ville, au grand Opéra, dans des constructions même d'importance bien moindre, et jusque dans les hôtels de voyageurs, on trouve efficacement réalisée, et consacrée par l'expérience, la combinaison

nifestement de cette habitude. Le grand cube d'air relatif des habitations, et leur hauteur, rendent, il est vrai, moins sérieux qu'ailleurs, le fait signalé. Mais, quelque spacieux que soient les locaux, et quoique la rigueur des froids aide au passage de l'air par les fissures inévitables des fenêtres et portes — et peut-être aussi un peu par les murs — on peut s'étonner d'une lacune que nous avons cru devoir indiquer incidemment.

plus ou moins complète des éléments essentiels que nous avons cru devoir résumer.

Et ce n'est pas seulement à Vienne, mais également à Pesth, à Gratz, à Munich, que nous avons plusieurs fois rencontré des installations analogues.

Du reste, le mouvement dans ce sens s'est manifesté concurremment sur les deux continents;

Il correspond au programme si magistralement exposé à plusieurs reprises devant vous, par notre éminent collègue, M. Émile Trélat; et il est intéressant d'ajouter que ces tendances concordent d'une manière frappante avec les efforts les plus récents faits en France, ainsi que par les ingénieurs ou savants étrangers les plus autorisés : en Russie, avec M. Flavitsky, en Suisse avec MM. Sulzer, en Amérique avec M. Leeds.

En Autriche, c'est M. le Professeur Dr Böhm qui s'est trouvé depuis vingt ans l'instigateur principal des progrès réalisés dans les questions de ventilation et de chauffage; c'est à lui qu'ont été confiées les études les plus importantes relatives aux grands édifices publics actuellement en construction à Vienne.

Et, pour tout dire, c'est à M. le Dr Böhm qu'on doit l'installation du grand Opéra de cette ville; véritable merveille qui mérite de servir de modèle, au moins dans ses dispositions principales.

Nous devrons nous arrêter un peu sur cette installation du grand Opéra de Vienne. Les bases en sont si rationnelles, les moyens employés comparativement si simples, et les résultats si remarquables, qu'une description plus spéciale de cette œuvre est digne de vous être faite. Il semble, du reste, que c'est encore en France une question d'actualité; étant données les mauvaises conditions d'hygiène dans lesquelles on se trouve dans nos théâtres, même les plus récents.

L'Opéra impérial de Vienne, en façade sur le Ring, est construit depuis peu[1]. Son inauguration ne remonte guère à plus d'une douzaine d'années. C'est le premier édifice dont les frais furent couverts par la caisse des travaux d'agrandissement de la ville. Les architectes

1. Une notable partie de ces renseignements nous a été fournie par notre excellent collègue, M. Maximilien Schmidt, que nous tenons à remercier ici de son obligeant concours.

du monument, choisis à la suite d'un concours, furent le professeur-conseiller des bâtiments Vandernüll et le professeur A. Siccard, de Siccardsburg, remplacés après leur mort, survenue pour tous deux avant l'entier achèvement des travaux, par MM. Gugitz et J. Storck.

Le terrain occupé par le nouvel Opéra mesure environ 11,000 mètres carrés, dont 8,000 couverts par les constructions. La plus grande longueur du bâtiment est de 121 mètres; la plus grande largeur de 92. La scène est une des plus vastes et des mieux disposées du continent.

La salle peut contenir environ 2,700 personnes. Elle comporte 92 loges publiques réparties entre quatre étages; une loge de gala en face la scène; deux loges également pour la cour, au même niveau, mais sur les côtés; également deux loges analogues au niveau du parterre, et deux loges d'artistes au troisième étage; enfin des fauteuils, des stalles et des places debout, au parterre, ainsi qu'à la troisième et à la quatrième galerie.

La salle est éclairée au gaz par un lustre à 90 flammes, renforcé d'une couronne lumineuse formée de 16 réflecteurs pourvus chacun d'un groupe de 25 brûleurs, lesquels réflecteurs entourent, au plafond, l'ouverture du lustre. En outre, pour les jours de gala, les appuis des loges sont munis d'un certain nombre de lumières.

La ventilation est assurée par le fonctionnement de deux ventilateurs; l'un, insufflant, installé en contre-bas; l'autre, aspirant, établi dans la cheminée générale d'évacuation des combles, au-dessus du lustre. Le mouvement d'air provoqué par les ventilateurs s'effectue dans la salle de bas en haut; il profite de l'appel produit par la chaleur du lustre, augmentée de celle des seize réflecteurs du plafond (*sonnenbrenner*). Enfin, le calorique dégagé par les spectateurs contribue encore à ce mouvement général de bas en haut, et à l'active évacuation de l'air vicié par le trou du lustre.

L'air pur, puisé dans des jardins compris dans le périmètre du théâtre, est échauffé l'hiver au contact de calorifères à vapeur. Cet air pénètre dans la salle — à une température de 17 à 18 degrés centigrades — par le plancher même du parterre, et par les points les plus bas des loges et galeries. Pour les deux étages supérieurs, qui comportent des gradins en amphithéâtre, l'air s'introduit par toutes les contremarches, entièrement ajourées et munies de grillages à mailles fines.

Enfin, pendant la saison chaude, un surcroît d'air pur et frais est insufflé dans la salle par des jours ménagés tout autour du plafond.

Les couloirs reçoivent également une certaine quantité d'air venant des chambres de préparation thermométrique réservées dans les dessous; et lesdits couloirs sont maintenus à une température au moins égale à celle de la salle. La scène est également pourvue d'émissions d'air, indépendantes, et à la même température que dans la salle.

Les bouches d'émission placées près des spectateurs sont munies de grillages à mailles fines, qui tamisent l'air et font que, absolument, aucuns courants sensibles ne se trouvent perçus par les individus; la vitesse d'entrée est d'environ $0^m,30$ par seconde. La température modérée à laquelle est maintenu l'air introduit, non seulement est supportée sans gêne, mais entretient — la pureté de l'air aidant — dans la zone occupée par les personnes, une atmosphère fraîche et agréable, et un bien-être dont nous n'avons pas d'exemple en France.

Enfin, par surcroît, aucuns courants d'air gênants ne se font sentir par les portes de loges ou autres, comme cela a lieu partout ailleurs.

La raison de cette absence de courants d'air est particulièrement due à l'emploi de l'insufflation mécanique, et au soin apporté à entretenir les couloirs et la scène dans une bonne condition comparative avec la salle, aux points de vue thermométrique et barométrique.

En résumé, du témoignage de tous — et MM. Tresca et Trélat nous l'ont dit encore récemment — la ventilation de l'Opéra de Vienne donne des résultats incomparables. Notre cher Président avait donc bien raison de nous signaler une installation aussi parfaite.

Aussi bien que les caractères fondamentaux de l'installation dont nous nous occupons, les détails techniques en sont intéressants à connaître, à plus d'un titre.

L'appareil d'insufflation est un ventilateur à hélice d'un très bon système, dû à M. Héger, professeur distingué de mécanique à l'École polytechnique de Vienne. Ce ventilateur mesure $3^m,50$ de diamètre à l'extérieur. Il comporte au centre un noyau plein correspondant à deux cônes conducteurs, un en avant, l'autre en arrière de l'appareil. Ce ventilateur fournit en été jusqu'à 110 mille mètres cubes d'air par heure. Le chiffre ordinaire est de 80 à 85 mille, correspondant à 30^{m3} environ par spectateur, en supposant toutes les places occupées.

Le ventilateur d'aspiration établi dans la cheminée générale d'évacuation au-dessus du lustre est une simple hélice ordinaire; nous croyons peu à son utilité.

C'est une même machine à vapeur, de la force de 16 chevaux, qui commande les deux ventilateurs. Cette machine, installée dans les caves, actionne directement le ventilateur d'insufflation; le mouvement est transmis au ventilateur d'aspiration au moyen d'un câble.

Si l'on étudie maintenant le mode de préparation thermométrique de l'air de ventilation, et sa distribution générale, on voit ceci :

Deux prises d'air, consistant en deux grands puits de $6^{m} \times 4^{mm}$ de section, sont réservées dans les jardins sur les côtés du théâtre.

De là, l'air passe dans un souterrain de $7^{m},50$ de hauteur formant un grand réservoir où l'été, des jets d'eau froide, retombant en pluie fine, ont pour objet de produire un certain rafraîchissement. Puis l'air arrive au ventilateur d'insufflation qui, suivant le nombre de tours auquel il fonctionne, envoie dans la salle plus ou moins d'air, selon les saisons.

En avant dudit appareil, le canal d'arrivée mesure $2^{m},40$ de diamètre; il s'élargit ensuite à l'endroit du ventilateur où il atteint $3^{m},50$, et se rétrécit au delà pour ne plus avoir que $4^{m2},50$ de section.

Ledit canal communique, en contre-bas du parterre, avec un vaste espace d'une étendue correspondante à la salle, y compris la partie occupée par les spectateurs et celle couverte par les couloirs.

Cet espace se divise en trois étages superposés ayant chacun son rôle particulier.

L'étage inférieur reçoit l'air venant du ventilateur. Il est divisé en chambres distinctes correspondant respectivement au parterre, aux loges et aux couloirs; chaque division se trouve pourvue d'un registre spécial pour régler l'introduction de l'air.

L'étage intermédiaire, divisé d'une manière semblable, est muni d'appareils de chauffage à vapeur, indépendants pour chacune des chambres.

18000 mètres de tubes en fer étiré de 25 millimètres de diamètre intérieur, groupés par batteries à dilatation libre, et fonctionnant à la pression de 5 atmosphères, forment l'ensemble des surfaces de chauffe.

Enfin, l'étage supérieur, qui se trouve directement situé sous le parterre et les couloirs qui l'enveloppent, est formé de chambres de mélange répondant aux divisions des étages inférieurs.

Par suite des dispositions que la coupe verticale du théâtre fait bien comprendre, l'air froid peut arriver directement du bas jusqu'à l'étage supérieur des dessous par des gaines verticales cylindriques de $0^m,95$ de diamètre, traversant l'étage moyen. Cet étage moyen est lui-même en communication directe, soit avec celui du dessus, soit avec celui du bas, par des ouvertures annulaires concentriques aux susdites gaines de $0^m,95$. L'arrivée de l'air froid ou chaud dans les chambres de mélange se règle au moyen des cloches en tôle disposées au-dessus des gaines et au-dessus des ouvertures annulaires. Par un mécanisme ingénieux, on fait monter ou descendre ces cloches à volonté, et indépendamment pour chaque série de chambres.

Sans aller plus loin, on comprend qu'on soit ainsi maître de régler à son gré et à tout instant, la température ou la ventilation des diverses parties du théâtre. On verra tout à l'heure comment toute cette direction est intelligemment concentrée entre les mains d'un chef de service.

Pour les fauteuils d'orchestre et les places de parterre, la chambre de mélange est placée immédiatement au-dessous. C'est une vaste salle, intéressante par son ampleur, et par l'ensemble des dispositions employées pour le fonctionnement des divers appareils de réglage. On y a, sous la main, à sa disposition, les moyens de modifier instantanément le régime de chacune des places de l'orchestre et du parterre. Le résultat obtenu est parfait ; aussi les places d'orchestre et de parterre sont-elles toujours très fréquentées à l'Opéra de Vienne, même pendant la saison chaude.

Les loges sont moins bien partagées. Pour un motif qui n'a pu nous être indiqué, et dans tous les cas, au grand regret de tout le monde, au lieu d'être pourvues d'introductions directes, les loges prennent leur air sur les couloirs, au moyen d'ouvertures ménagées dans le bas des portes. Les résultats obtenus sont moins bons qu'au parterre. Non pas qu'on souffre de courants d'air — car, à Vienne, il n'en existe pas de gênants par les portes de loges — mais le bien-être est moins complet ; il est encore cependant très acceptable, relativement à bien d'autres théâtres.

On voit que pour les étages de loges, tout l'air de ventilation venant des chambres de mélange correspondantes est d'abord fourni aux couloirs.

Aussi ces derniers sont-ils munis d'orifices d'introduction d'air pur ayant d'importantes sections, savoir :

Pour le couloir des loges de parterre	.....	$2^{m2},80$
» » de 1er rang	.....	$2^{m2},80$
» » de 2e rang	.....	$2^{m2},80$
» » de 3e rang	.....	$1^{m2},40$
Soit pour les quatre étages	.....	$9^{m2},80$

lesquels $9^{m2},80$ viennent s'ajouter aux sections d'introductions normales de l'installation, qui peuvent se résumer ainsi :

Orchestre et parterre	....	$55^{m2},40$
Corridors du parterre	....	$2^{m2},80$
Troisième galerie	....	$2^{m2},80$
Quatrième galerie	....	$4^{m2},20$
Ensemble	.....	$65^{m2},20$

soit, pour la totalité des orifices ordinaires d'émission d'air pur, 75^{m2}.

Ne sont pas compris dans ce chiffre environ 20 mètres carrés de section d'introductions supplémentaires d'air frais, susceptibles d'être fournis par les orifices réservés à cet effet tout autour du plafond. Cet air frais additionnel, auquel on n'a recours que dans la saison chaude, ne passe par aucune chambre de chauffe ni du mélange ; il provient d'un canal d'été spécial réservé en contre-bas de tous les autres, et commandé par un registre placé un peu en arrière du ventilateur d'insufflation.

Nous n'avons fait encore, que suivre la marche de l'air pur, jusqu'aux spectateurs ; nous devons maintenant considérer l'air vicié.

Cet air sort des loges et des galeries pour monter avec celui qui vient du parterre, vers le haut de la salle, et s'échapper par la cheminée du lustre et les seize petites cheminées des foyers à réflecteurs.

Dans les amphithéâtres des troisième et quatrième galeries, où se trouvent réunis de nombreux spectateurs, et où les plafonds remontent vers l'arrière, l'air vicié est plus spécialement appelé dans des gaines qui partent des points hauts de ces plafonds et qui aboutissent, en passant au-dessus de la salle, dans l'espace cylindrique annulaire où s'élèvent les seize cheminées métalliques des foyers à réflecteurs.

L'air vicié des troisième et quatrième galeries est ainsi fortement chauffé, et évacué avec d'autant plus d'énergie.

L'air à évacuer provenant de tous les points de la salle se réunit, en définitive, dans une chambre centrale au-dessus du lustre, pour s'échapper par une cheminée de $4^m,10$ de diamètre, dans laquelle se trouve installée une hélice d'aspiration. Nous avons déjà dit que nous croyions peu à l'utilité de cette hélice, sans le concours de laquelle l'évacuation nous paraît déjà assurée.

Enfin, la cheminée est surmontée d'un grand chapeau mobile muni d'un écran orienté par le vent et facilitant encore la sortie de l'air vicié.

Sur ce terrain descriptif de l'installation, bien des points pourraient encore être indiqués ; mais les détails qui précèdent paraîtront certainement suffisants pour apprécier l'ensemble d'un système dont les bases sont simples autant que rationnelles.

Il faut pourtant franchement reconnaître que la perfection des résultats obtenus, quoique définitivement acquise, serait amoindrie avec une organisation de service moins complète et moins compétente que celle dont se trouve pourvu le théâtre de l'Opéra de Vienne.

En effet, en dehors des qualités propres du système général, et pour pouvoir, d'ailleurs, en profiter dans la mesure la plus parfaite, la direction du chauffage et de la ventilation se trouve concentrée entre les mains d'un ingénieur. Et — ce qui n'est pas une des moindres curiosités du théâtre — en un point unique, situé immédiatement sous la salle, près des chambres de mélange dont nous avons parlé, ledit ingénieur, comme un capitaine sur son navire, commande les manœuvres, ouvre ou ferme les registres d'aération sans se déranger de son cabinet ; enfin, guidé par les indications qui lui sont à tout instant fournies au moyen de thermomètres électriques correspondant aux diverses parties de la salle, il distribue, suivant les besoins, l'air frais ou chaud, et assure ainsi à toutes les places, et à tout instant, une température et une ventilation convenables. Tout cela, sans bruit, sans personnel nombreux, et sans efforts apparents ; c'est vraiment merveilleux.

Mais cette installation toute spéciale, si elle étonne et séduit le visiteur par son côté pittoresque, éclaire en même temps l'homme technique et l'administrateur, dont la mission est de s'assurer le bénéfice de tout ce qui peut contribuer au succès d'une exploitation théâtrale.

Or, on conviendra que, même à ce point de vue, le bien-être des spectateurs dans une salle de théâtre est incontestablement un élément qui ne saurait être négligé sans dommage.

L'affluence continuelle des spectateurs à l'Opéra de Vienne, même pendant la saison la plus chaude de l'année, en est une preuve convaincante.

Rien ne saurait d'ailleurs être plus concluant que les témoignages suivants par lesquels nous nous proposons de finir.

Depuis que le théâtre de l'Opéra fonctionne, à la satisfaction de tous, plusieurs salles se sont ouvertes à l'étranger, ou se sont améliorées. Or, qu'a-t-on vu? M. Bordiau — le premier en date — architecte du théâtre royal de la Monnaie, à Bruxelles, après avoir visité et étudié toutes les salles de l'Europe, s'est convaincu que le système de Vienne était le seul convenable, et a voulu y recourir dans la mesure du possible pour modifier, en l'améliorant, le régime autrefois détestable de son théâtre.

C'est ce qui est arrivé.

A Genève, où M. Gosse, l'habile architecte du beau théâtre qui vient d'être récemment édifié aux frais de la ville — à Genève, disons-nous — où M. Gosse, après des études poussées très loin, a voulu s'arrêter aux dispositions reconnues comme les plus efficaces, c'est encore le système de Vienne qui a été préféré, avec quelques simplifications.

Le succès, là encore, est complet[1].

On pourrait citer également le nouveau théâtre de Francfort qu'on dit s'être inspiré complètement aussi de l'Opéra de Vienne?

Mais il n'est pas nécessaire, pensons-nous, d'en dire davantage; la preuve semble faite que le vrai système de ventilation des théâtres existe, et que c'est à Vienne et à M. le Dr Böhm qu'il faut en faire honneur.

L'heureuse solution qui vient d'être indiquée paraîtra certainement

1. L'installation réalisée à Genève mérite même une mention toute spéciale. Non seulement elle se distingue par des détails ingénieux qui lui sont propres; mais encore par des dispositions favorables à l'exploitation, au point de vue économique. — L'installation de Vienne, dans son ensemble, n'en reste pas moins toujours le type primordial dont il faut s'inspirer.

intéressante à tout le monde. Elle touche d'ailleurs, par plus d'un côté, à la grande question de l'hygiène des établissements publics.

A ce point de vue, encore, nous voudrions terminer notre communication par quelques réflexions succinctes sur la visite comparative que nous avons faite à Vienne, à Pesth, à Gratz et à Munich, de plusieurs établissements spécialement consacrés à l'étude de la chimie.

Partout des laboratoires bien disposés, vastes, clairs et pourvus d'eau ainsi que de gaz à toutes les places, et même de vapeur en certains endroits. Partout des machines à vapeur commandant des générateurs d'électricité. Partout aussi, la vapeur employée comme mode de chauffage ; et, pour un certain nombre de salles au moins, des surfaces de chauffe établies dans les locaux.

Mais la ventilation, particulièrement, a été l'objet de grands soins. A Pesth, où chaque groupe d'appareils, et toutes les capacités quelconques, se trouvent desservis par des gaines spéciales d'aspiration indépendantes les unes des autres — où chaque partie à ventiler, en un mot — correspond à une gaine particulière, munie de brûleurs à gaz, M. le professeur von Thann nous a montré les inconvénients qui résultaient de l'absence de ventilation centralisée.

Si, par exemple, des cheminées de niches à vapeurs acides pourvues de gaines d'évacuation particulières non réunies dans un collecteur commun, ne fonctionnent pas en permanence, elles risquent de donner lieu à des courants renversés très nuisibles.

Pour éviter cet inconvénient, M. le professeur von Pebal, créateur du laboratoire de Gratz, tout en maintenant, bien entendu, les évacuations respectives, a cru devoir ventiler ses laboratoires par insufflation, sans préjudice de la réunion des gaines de sortie dans un collecteur commun.

Les résultats obtenus sont bons, ainsi que l'espérait M. von Pebal.

Dans ce même établissement, on remarque aussi le grand amphithéâtre, où l'air est introduit par pulsion mécanique, près des élèves, et évacué par le haut de la salle.

C'est le parti contraire de ce qui existe notamment à Pesth où, d'ailleurs, M. le professeur von Thann, trouvant son installation insuffisante, compte faire changer les dispositions actuelles.

A Pesth, comme à Gratz, les dispositions prises pour bien isoler et ventiler les chambres à acide sulfhydrique, sont à citer.

Enfin, à Munich, M. le professeur Baeyer nous a expliqué les raisons

concluantes qui l'ont amené à ventiler ses laboratoires mécaniquement et par appel.

De la comparaison entre les quatre établissements, il résulterait que pour les grands laboratoires, la ventilation mécanique et par appel est ce qui convient le mieux ; et que pour les amphithéâtres c'est au contraire l'insufflation mécanique près des individus, avec évacuation par le haut, qui serait préférable.

En résumé, le voyage que nous venons de faire comme délégués, auprès du Congrès des Ingénieurs et Architectes d'Autriche, a permis de constater bien des efforts heureux ; nous avons essayé d'en exposer les points les plus saillants ; et nous sommes convaincus, une fois de plus, que, de chaque occasion de rapprochement entre les membres des diverses Sociétés d'étude, il ressort toujours des conséquences intéressantes et profitables.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU

MOIS DE NOVEMBRE 1880

Séance du 5 Novembre 1880.

PRÉSIDENCE DE M. GOTTSCHALK.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 15 octobre est adopté.

M. LE PRÉSIDENT annonce le décès de MM. Ronssin et Rozycki.

Il annonce également la nomination de M. Lévi Alvarès, à la dignité de grand'croix d'Isabelle la Catholique.

M. LE PRÉSIDENT, avant de donner la parole à M. Demimuid, rappelle que la Société des Ingénieurs et Architectes de Vienne, avait demandé à notre Société de vouloir bien lui déléguer deux ou trois de ses membres pour la représenter au Congrès des Ingénieurs et Architectes d'Autriche. Afin de resserrer les relations amicales qui nous unissent à la Société de Vienne, le Comité a pensé qu'il y avait lieu de déléguer MM. Demimuid, Herscher et Reinhardt. Les questions qui devaient être traitées au Congrès des Ingénieurs et Architectes d'Autriche, à savoir : l'avenir de l'ingénieur dans ce pays, son rôle dans la société et les études qu'il doit faire avant d'entrer dans une école spéciale, sont de celles qui intéressent la profession. C'était en outre pour nos délégués une occasion de voir les grands travaux qui s'exécutent en Autriche-Hongrie, les constructions nouvelles qui s'élèvent à Vienne, et notamment pour M. Herscher, l'occasion d'étudier et de faire connaître, comme il l'avait promis à notre Société, le remarquable système de ventilation et de chauffage, appliqué au grand Opéra de Vienne, et en cours d'application aux monuments nouveaux. De là doivent résulter deux communications : l'une donnant le résumé du voyage, l'autre ayant trait à la ventilation et au chauffage de l'Opéra et des autres monuments de Vienne. C'est la première que M. Demimuid va nous exposer.

M. Demimuid s'exprime comme suit :

Nous venons vous rendre compte d'un voyage en Autriche, où nous étions délégués de notre Société, près de la Société des Ingénieurs et Architectesd'Autriche, avec M. Reinhardt, notre collègue, ancien élève de l'École Centrale, directeur du mouvement et du service commercial à la société Autrichienne des chemins de fer de l'État, et dont la haute position à Vienne ne pouvait que faciliter notre mission.

Avant toute narration, nous devonsremercier notrecherPrésident d'avoir bien voulu nous proposer au Comité pour cet intéressant voyage, et nous remettre des recommandations toutes spéciales, qui nous ont valu un accueil exceptionnel, témoignage des vives sympathies qu'il a laissées en Autriche.

Le Congrès près duquel nous étions délégués, avait une partie, celle des séances de discussions, où notre rôle ne pouvait être que bien effacé, il s'agissait de vœux à exprimer sur l'enseignement secondaire en Autriche.

On a été généralement d'avis que l'enseignement de l'École *réale*, qui représente à peu près l'enseignement spécial de nos lycées, ne comprend pas dans une mesure suffisante les études littéraires, et que pour cette raison, il n'offre pas une préparation assez élevée et complète à l'École polytechnique; que parallèlement l'enseignement des Gymnases, qui correspond à notre enseignement classique, présente plus d'une lacune au point de vue des connaissances pratiques et professionnelles. On a donc conclu à l'opportunité de créer un enseignement nouveau et mixte, où une certaine part serait faite au latin et au grec, à côté des branches techniques, telles que le dessin, la géométrie descriptive, etc.

Le véritable but de notre voyage et le grand attrait pour nous, étaient l'étude des constructions si remarquables, qui se font aujourd'hui en Autriche, et principalement à Vienne où se tenait le Congrès, et des dispositions spéciales de chauffage et de ventilation, si vantées, mais si peu connues de nous.

A Vienne, l'ancienne ville est circonscrite par une voie très large, qui l'entoure comme un anneau, d'où son nom de *Ring;* c'est un magnifique boulevard, de chaque côté duquel sont des constructions à l'aspect très monumental, tant pour les édifices publics, que pour les édifices privés. On est frappé, en entrant dans cette ville, du sentiment de grandeur qui existe dans ces belles constructions, inspirées presque toutes des palais italiens. Si l'on pénètre dans les intérieurs, mêmes dispositions grandioses, vestibules vastes, étages élevés, escaliers en pierre (une ordonnance contre l'incendie proscrit les escaliers en bois); nulle part cette architecture gênée qui, nous devons le reconnaître, domine trop chez nous, imposée par la spéculation.

Nous ferons toutefois une critique à ces grandes constructions de Vienne; si leur aspect d'ensemble est très satisfaisant, on regrette de voir en grande partie les façades construites en briques recouvertes d'un enduit, surtout

en les comparant à quelques-unes, où la brique apparente et les ornements de terre cuite sont du meilleur effet.

Dans la première partie de notre rapport, nous allons vous faire une simple narration de notre voyage, en passant rapidement en revue les édifices importants que nous avons visités; une seconde partie présentera l'exposé des dispositions de chauffage et de ventilation qui ont frappé notre attention.

Arrivés à Vienne le soir du jeudi 7 octobre, dès le lendemain, veille du Congrès, M. Schmidt, président de la Société des Ingénieurs et Architectes d'Autriche, et les hommes éminents qui sont avec lui à la tête des constructions les plus importantes, nous avaient reçus avec la plus grande cordialité, et avaient eu l'attention de désigner trois délégués chargés de faciliter nos visites et de nous fournir tous les renseignements dont nous pourrions avoir besoin. Nous sommes heureux de remercier encore ici M. Reinhardt, notre collègue, M. le professeur de Grimbourg et M. Engerth, fils de M. le baron Engerth, dont nous avons entendu ici l'intéressante communication sur les travaux du Danube.

Le samedi, nous visitons la belle installation de la Société des Ingénieurs et Architectes, où se tenaient les séances du Congrès sur les études et l'avenir de la profession de l'ingénieur et de l'architecte. Un escalier monumental conduit à la grande salle des séances, destinée aux réunions de la Société, une galerie forme tribune; à côté de cette salle et à son niveau, de grandes pièces sont destinées aux commissions, puis, à l'étage correspondant à la galerie, se trouvent le secrétariat, la bibliothèque et la salle des collections; on y arrive par un escalier secondaire. Nous avons été reçus d'une façon fort aimable par M. Leonhardt, secrétaire de la Société, qui s'est mis de suite, très obligeamment, à notre disposition.

Nous consacrons notre soirée à l'Opéra. Les dispositions prises pour la ventilation de la salle nous ont paru donner d'excellents résultats; aux fauteuils d'orchestre où nous étions placés, la température est fort agréable, et fait un contraste singulier avec la chaleur qui règne dans les couloirs de dégagement; nous comprenons maintenant que par les chaleurs excessives de l'été, on vienne respirer plus librement dans cette partie de la salle; si nous citons particulièrement ces places, c'est que vous verrez, dans la deuxième partie de ce rapport, qu'il y a pour les loges une critique à faire, ce qui ne nous empêche pas de reconnaître combien l'ensemble des dispositions prises est satisfaisant.

Le lendemain, 10 octobre, était la journée réservée pour la visite des monuments en construction; ils sont destinés à présenter sur le boulevard circulaire (*Ring*), un ensemble très imposant.

On a commencé par les deux nouveaux musées, sous la conduite de M. le baron Hasenauer, architecte de ces beaux édifices (c'est au même architecte qu'est dû le palais de l'Exposition de 1873). Ces deux monuments sont séparés par une grande place, et font face au palais impérial;

leur mode de construction est celui généralement employé en Autriche pour les édifices publics ; tout est construit en briques, le revêtement extérieur, seul, est en pierres de taille ; cette disposition conduit à des murs extérieurs très épais, et de deux en deux assises les pierres font harpe pour bien se relier aux maçonneries de briques. Ces travaux nous ont paru exécutés avec le plus grand soin. Le style adopté pour ces musées est celui de la Renaissance italienne, ces deux grands édifices isolés de tous côtés, sont terminés chacun par un dôme dans la partie centrale, où sera le grand escalier, placé entre les deux cours intérieures.

M. Hasenauer nous a fait ensuite visiter le nouveau théâtre de la Cour, construit par lui dans le même style et avec le même soin.

Puis, sous la conduite de M. Hansen, l'architecte de l'École des Beaux-Arts, de la Bourse, du Musée de l'Arsenal et de tant d'autres édifices remarquables, nous visitâmes ses importants travaux du Parlement. Toujours le même mode de construction, seulement ici, le style grec a été choisi par l'architecte, qui a cherché à reproduire dans cet édifice, le plus scrupuleusement possible, les formes de l'antiquité. On y arrivera par deux grandes rampes, au pied desquelles se trouvera une fontaine monumentale, et de chaque côté de cette fontaine, deux mâts portant des oriflammes, rappelleront ceux de la place Saint-Marc, à Venise.

On entre par un large péristyle qui conduit à un vestibule de chaque côté duquel se trouvent de grands escaliers; ce vestibule donne accès à une vaste salle qui sépare les deux Chambres (celle des Seigneurs et celle des Députés) avec leurs services annexes. L'importance de la partie centrale peut permettre d'y réunir les deux Chambres.

Le plan de cet édifice a beaucoup de grandeur, et sa composition fait le plus grand honneur à l'architecte.

De là, sous la conduite de M. de Monteforte, architecte, on s'est rendu à la construction du nouveau Palais de Justice; tout en reconnaissant les qualités réelles de ce travail, nous aurions désiré plus de sobriété dans la composition.

Ensuite, avec M. Schmidt, président de la Société des Ingénieurs et Architectes d'Autriche, et architecte de la Cathédrale (Dôme), nous sommes allés visiter la belle construction de l'Hôtel de Ville. Cet important édifice, dont l'architecture est inspirée de l'époque de transition du gothique à la renaissance, est aujourd'hui très avancé. Le motif milieu de sa façade principale sur le Ring, se compose d'une grande tour et de quatre tours latérales, deux de chaque côté de la tour du milieu, le tout relié par un portique à rez-de-chaussée, et au premier étage par les grandes fenêtres ogivales éclairant les pièces principales. Ces tours seront couronnées d'élégantes flèches en pierre. De chaque côté de ce motif milieu, deux grandes travées de l'édifice se terminent par des pavillons d'angle. A l'intérieur on arrive par de vastes vestibules à une grande cour centrale avec portiques. Cet édifice comprend en outre six cours secondaires. La construction, conçue dans le même esprit que celles des monuments dont nous

venons de parler, est partout parfaitement traitée. Nous parcourons toute la partie haute, sous la conduite de M. Schultz, inspecteur des travaux, qui s'était mis très obligeammment à notre disposition ; il nous montre les détails de la couverture, où toutes les précautions ont été prises pour des visites faciles, et contre la chute des ouvriers en cas de réparations.

A midi, M. Schmidt nous invite à descendre dans les belles caves de la construction, éclairées à la lumière électrique, où, sous de grands arcs gothiques, était préparé le déjeuner. Après ce repas, plusieurs toasts ont été portés; M. Stach qui était membre de la Commission Impériale et Royale à l'Exposition universelle de 1878, veut bien nous souhaiter la bienvenue, et nous lui adressons à notre tour tous nos remerciements pour le sympathique accueil que nous recevons.

De la construction de l'Hôtel de Ville, nous nous dirigeons vers les travaux de la nouvelle Université, sous la conduite de l'architecte M. le baron Ferstel, qui est également l'architecte de l'Église votive, et recteur de l'École polytechnique de Vienne. Nous nous trouvons là encore en présence d'un édifice d'un aspect très monumental ; l'auteur s'est inspiré de l'architecture romaine avec beaucoup d'art et de goût ; le plan a de la grandeur. L'édifice est construit sur un soubassement très élevé; on arrive au niveau du vestibule par deux rampes à voitures, qui conduisent à un passage à couvert; après le vestibule très vaste, on trouve une cour centrale entourée de portiques, des deux côtés sont disposés les différents services. Les étages supérieurs sont desservis par de grands escaliers, rappelant ceux des palais italiens. Les façades extérieures, et celles de la grande cour, sont revêtues de pierres comme dans toutes les constructions dont nous venons de parler ; les façades des quatre cours secondaires, remarquablement traitées en brique apparente et ornements en terre cuite, font regretter de voir cette disposition si peu employée, dans un pays où l'élément principal des maçonneries est la brique.

Après la visite à l'Université, nous allons à l'Église votive, également conduits par l'architecte M. le baron Ferstel. Cette église a été construite à la suite de l'attentat de 1853, auquel l'empereur d'Autriche avait échappé d'une façon providentielle; cet édifice gothique est une des plus remarquables constructions modernes, son achèvement est tout récent. La façade principale est flanquée de deux tours de près de 100 mètres de hauteur, avec flèches en pierre sculptées à jour. Le prélat placé à la tête du clergé de cette église, avait bien voulu, pour l'heure de notre visite, en réserver l'entrée exclusive aux membres de la Société des Ingénieurs et Architectes, et à leurs invités. Nous avons pu ainsi, parcourir librement tout l'édifice, où tout est traité avec un goût parfait.

Là, se terminaient les visites d'édifices annoncées par le programme du Congrès. M. Hansen, toujours si obligeant et si plein de courtoisie, voulut bien nous conduire à l'École des Beaux-Arts, qu'il a construite, et nous la montrer dans tous ses détails. Les dispositions architecturales de cet édifice sont très remarquables, et une série d'arrangements fort ingénieux

ont été pris pour faciliter le travail des élèves, et permettre de bien éclairer les modèles.

A cinq heures, un banquet réunissait tous les membres du Congrès au Grand-Hôtel; il s'est terminé par des toasts, où les sympathies si chaleureuses manifestées en faveur de la France, nous ont vivement touchés.

Le lendemain matin, M. le baron Hasenauer, nous montre dans son bel atelier le joli modèle de son théâtre, dont nous avions visité la construction la veille; il nous fait accompagner à la Bibliothèque et au manège du palais de l'Empereur, et de là à l'Opéra, où nous pouvons visiter dans tous les détails les dispositions prises pour le chauffage et la ventilation, dont la description vous sera faite dans la deuxième partie de ce rapport.

Dans l'après-midi, M. Hansen vient nous chercher, pour aller à l'Arsenal, visiter le remarquable musée d'armes construit par lui. Cet édifice est conçu dans le style byzantin; il forme une construction isolée dans l'enceinte de l'Arsenal, et l'opposition de l'architecture sévère des parties environnantes et de sa façade, fait ressortir encore plus la décoration riche et élégante, que M. Hansen a adoptée pour l'intérieur de ce musée.

Le lendemain mardi, nous allons rendre visite au célèbre docteur Böhm, l'auteur du chauffage et de la ventilation de l'Opéra, et chargé des mêmes travaux pour la plupart des édifices nouveaux dont nous venons de parler; il questionne beaucoup M. Herscher sur les dispositions de détail employées en France, et paraît s'intéresser vivement aux progrès faits chez nous dans les questions qu'il étudie spécialement.

Le même jour, nous aurions dû faire une promenade sur le Danube, et voir en détail les importants travaux de la régularisation de ce fleuve, exécutés par des entrepreneurs français, MM. Couvreux et Hersent, sous la direction d'une Commission spéciale, dont M. le baron Engerth était un des membres éminents. Il nous a fallu, à notre plus vif regret, renoncer à cette partie si intéressante du programme des visites du Congrès, devant partir pour Pesth où M. Reinhardt nous avait gracieusement offert de nous conduire dans le wagon de la Direction.

La gare de Buda-Pesth est une œuvre très remarquable; ses plans ont été très heureusement établis par notre collègue, M. de Serres, l'habile directeur de la construction de la Société autrichienne des chemins de fer de l'État, et l'exécution toute exceptionnelle est due à notre collègue, M. Eiffel. Cette gare est certainement une des constructions les plus intéressantes par son architecture tout à fait moderne, accusée par l'alliance du fer et des maçonneries, disposition dont nous avons eu des spécimens à la gare du chemin de fer de l'Ouest, à l'Exposition de 1878 et au pavillon de la Ville de Paris, à la même Exposition.

Notre journée du mercredi est consacrée à la visite de Buda-Pesth, avec M. Reinhardt. Ici, on retrouve la même préoccupation de grandeur dans tous les édifices modernes; on y établit des boulevards, rappelant l'avenue du bois de Boulogne dans les parties qui bordent la ville, avec des grilles sur la voie publique, des villas et de beaux jardins. Nous n'avons qu'à

vous rappeler ici la largeur du Danube séparant Pesth et Buda, et les ponts remarquables dus à des constructeurs français (aux maisons Gouin et Cail), sans compter le magnifique pont suspendu de Clark.

Nous avons visité le célèbre laboratoire de chimie, construit d'après les indications du docteur Carl von Than, qui nous a montré lui-même, avec la plus grande complaisance, l'ensemble si complet de cet établissement. Deux étages sont réservés aux diverses salles d'étude, où toutes les facilités sont mises à la disposition des élèves, l'eau et le gaz arrivent à proximité de chaque place. Vous verrez dans la suite de ce rapport, les dispositions prises pour le chauffage et la ventilation des diverses salles, dans lesquelles on s'est aussi préoccupé d'aérer toutes les armoires où sont renfermés les différents produits susceptibles de dégager des vapeurs nuisibles.

A ces salles d'étude, est joint un amphithéâtre, où les élèves sont largement assis, avec une table devant chaque place; cet amphithéâtre est pourvu des moyens les plus complets pour faciliter l'enseignement.

Ensuite nous avons visité l'Hôpital, puis la Clinique, M. Herscher étant entré dans la salle de dissection, le professeur M. de Lenhossek s'est montré on ne peut plus heureux d'avoir la visite de Français, visite accueillie par ses élèves aux cris de « Vive la France! »

De retour à Vienne le jeudi matin à 6h,20, nous reprenons à 7 heures le chemin de fer du Sud. Nous faisons la magnifique traversée du Semmering par un temps splendide. Arrivés à Graz, nous allons au laboratoire de l'Université, dû au professeur Léopold Von Pebal, qui veut bien nous faire lui-même visiter l'ensemble de cet intéressant établissement. Les dispositions générales rappellent celles de Pesth, avec quelques compléments, notamment en ce qui concerne la ventilation des laboratoires. Le soir, nous rentrons à Vienne.

Le vendredi est notre dernière journée passée dans cette ville; nous visitons une école (*gymnase*), où M. Maximilien Schmidt, ancien élève de l'École centrale, notre collègue, a installé d'une façon très remarquable, les appareils de chauffage et de ventilation. Puis, à l'agence de la nouvelle Université, nous trouvons M. Kœchlin, inspecteur des travaux, qui veut bien nous faire visiter le laboratoire de chimie, construit par M. le baron Ferstel.

On trouve là les dispositions qui ont dû évidemment servir de point de départ pour la construction des laboratoires de Pesth et de Graz.

Le vendredi soir, il nous faut, non sans grand regret, quitter Vienne. Nous devons tous nos remerciements à M. Flattich, architecte du chemin de fer du Midi, qui s'est mis si obligeamment à notre disposition pour nous faire visiter cette belle ville, ainsi qu'à M. Maximilien Schmidt, notre excellent collègue, qui, dès le jour de notre arrivée, nous a toujours accompagnés et servi d'interprète; et dont les connaissances techniques nous ont été, dans bien des cas, d'un très grand secours.

En revenant, nous nous arrêtons à Munich, où nous visitons le laboratoire de chimie, si habilement dirigé par le professeur Adolf Baeyer. Les dispositions d'ensemble rappellent celles adoptées à Vienne, Pesth et Graz. Toutefois, on est frappé de l'organisation remarquable de chaque genre d'étude.

Le samedi soir, nous quittons Munich et le dimanche 17 au soir, nous étions de retour à Paris.

Tel est, mes chers Collègues, l'exposé rapide de notre intéressant voyage, où nous avons été malheureusement trop limités par le temps, rappelés ici par nos devoirs professionnels. Nous en conserverons le meilleur souvenir pour l'accueil que nous avons reçu, les belles choses que nous avons pu admirer, et les connaissances techniques que nous avons acquises et dont nous rendrons compte dans la deuxième partie de ce rapport.

M. le Président remercie M. Demimuid, du compte rendu qu'il vient de présenter. Ce compte rendu publié *in extenso* dans le procès-verbal, intéressera particulièrement ceux de nos Collègues, qui auraient le désir de faire le même voyage.

M. le Président donne la parole à M. Faure-Beaulieu, pour sa communication sur les différents procédés d'extraction des vidanges, leur traitement et la fabrication du sulfate d'ammoniaque.

Il rappelle que cette question a été soulevée par la lettre de M. de Coëne, insérée au procès-verbal de la dernière séance.

M. Faure-Beaulieu s'exprime comme suit :

La question des vidanges dans les villes est une des préoccupations du moment. Nous avons vu l'émotion causée dans la population parisienne par l'affaire de l'usine de Nanterre, sa fermeture obtenue après des pétitions nombreuses des communes voisines. Récemment, les odeurs nauséabondes qui se sont répandues pendant les grandes chaleurs de cet été ont incommodé un grand nombre de quartiers. Enfin, ces jours derniers, l'accident du boulevard Rochechouart, survenu dans un égout où l'on avait vidé nuitamment des matières de vidange provenant d'une fosse voisine, a encore entretenu l'attention sur cette question de salubrité publique. La Société des Ingénieurs civils ne pouvait pas rester étrangère à cette question tout actuelle, et ce travail n'a pas d'autre but que d'exposer les différents systèmes adoptés dans les grandes villes et de provoquer ainsi, de la part de nos Collègues compétents, des observations et des discussions intéressantes. Peut-être en ressortira-t-il quelque solution pratique, quelques conseils pour obtenir un assainissement complet des vidanges.

Entraînement par les égouts. — A Londres, à Bruxelles, à Berlin et dans d'autres grandes villes les matières fécales sont envoyées avec toutes les eaux ménagères directement aux égouts, passant sous les voies pu-

bliques. Les matières conduites à quelque distance des villes sont ensuite traitées par des procédés divers ou employées dans l'agriculture.

Système diviseur. — Ce système, qui va être adopté exclusivement par la Ville de Paris, n'est qu'un système mixte, un acheminement vers l'entraînement total des vidanges par les égouts. Il est appliqué actuellement à la cinquième partie des maisons de Paris, et va être imposé à tous les propriétaires dans un délai de cinq années. — Il faut remarquer que dans ce système, l'eau employée en grande abondance dans les water-closet, délaye constamment les matières solides, les entraînant à l'égout et ne retenant dans la tinette mobile que des papiers et des corps étrangers. Il est donc important que les égouts aient une pente suffisante et reçoivent une immense quantité d'eau pour entraîner tous les dépôts. On nous promet pour l'avenir cette quantité d'eau indispensable, et il faut espérer que le nécessaire sera fait pour que ces travaux soient terminés avant que ce système diviseur soit devenu universel. Il faudra ensuite établir des fermetures hydrauliques à toutes les bouches d'égout, installer une ventilation pour que ces égouts soient accessibles sans danger pour les ouvriers, augmenter les pentes dans certains endroits, toutes questions étudiées et résolues, paraît-il, par les ingénieurs de la Ville.

Fosses étanches. — Le système des fosses étanches est encore aujourd'hui le plus répandu non seulement à Paris, mais dans la plupart des villes. L'emmagasinage dessous chaque maison d'une masse putride en décomposition, est une cause très grave d'insalubrité, et les tuyaux d'évent exigés par l'Administration entretiennent au-dessus des habitations, une couche permanente de gaz délétères et nauséabonds. L'extraction nocturne des matières par les systèmes défectueux actuels, est encore une cause d'insalubrité sentie chaque soir par les promeneurs et les voisins de la maison où se fait l'opération.

Fosses mobiles. — Enfin le système des fosses mobiles, c'est-à-dire de tonneaux recevant et gardant toutes les matières solides ne peut être appliqué que dans des cas spéciaux. C'est un système qui n'est pas plus insalubre que les précédents, mais dont l'application est coûteuse et difficile.

EXTRACTION DES VIDANGES.

Pompe à bras. — La pompe à bras, dont l'emploi remonte à 1818, est encore adoptée à Paris et ailleurs par la plupart des entrepreneurs. Cette pompe est à double effet et à soufflets en cuir, qui se crèvent souvent. — La pompe Keizer, employée depuis peu de temps, est un progrès et offre l'avantage de laisser passer toutes sortes de matières solides sans être arrêtées dans leur parcours; les clapets en caoutchouc ayant la forme d'une mâchoire et embrassant le corps du cylindre.

Brûleurs, systèmes de désinfection. — En envoyant les matières au moyen d'une pompe quelconque dans une tonne, on déplace l'air emprisonné dans cette tonne, lequel, mélangé avec tous les gaz méphitiques de la vidange, sent aussi mauvais que les gaz de la fosse elle-même. C'est pourquoi, dans beaucoup de villes, oblige-t-on les entrepreneurs de brûler les gaz ou de les désinfecter par un procédé quelconque.

Le brûlage des gaz au-dessous d'un foyer à coke est souvent imparfait; si le fourneau est allumé d'un seul côté, les gaz passent de l'autre côté intacts sans être brûlés. Et puis, est-il bien certain que tous ces gaz méphitiques soient décomposables à haute température?

Une ordonnance de police prescrit également de désinfecter préalablement les fosses par un agent chimique. Mais aucune substance ne détruit complètement les gaz nauséabonds et ne peut être, dans tous les cas, mêlée assez intimement et brassée dans la fosse pour avoir un mélange parfait. Le sulfate de fer, et le Saint-Luc ou chlorure de zinc, et le sulfate de zinc sont le plus fréquemment employés. Ils décomposent les carbonate et sulfhydrate d'ammoniaque en sulfate ou en chlorure solubles et non volatils, qui deviennent un obstacle pour la fabrication ultérieure du sulfate d'ammoniaque.

Systèmes atmosphériques. — Vidanges de jour. — Comme l'a dit M. Chevalet, si compétent sur ce sujet, la vidange de nuit est nécessairement mal faite. Tout le monde est couché ou à peu près et la surveillance est difficile. Si l'opération se faisait en plein jour, par des procédés perfectionnés, tout le monde au contraire serait intéressé à surveiller le travail qui se ferait plus proprement.

Le système atmosphérique consiste à faire le vide dans des tonnes en tôle, puis de les mettre en communication avec la fosse et de les laisser s'emplir d'elles-mêmes par la pression atmosphérique. — Le vide peut être fait sur place, près de la fosse, au moyen de locomobiles actionnant des pompes, comme dans le système Tallard et autres, employés à Paris. Ce système a l'inconvénient de toute locomobile sur la voie publique, de faire du bruit, d'exiger une provision de combustible et d'eau. De plus, comme avec les pompes ordinaires à bras, on rejette dans l'atmosphère ou sous un foyer les gaz déplacés dans les tonnes.

Le vide sur place s'est fait encore avec un injecteur Kœrting monté sur une chaudière locomobile, mais ce système a été abandonné après quelques essais.

Le vide peut être fait préalablement à l'usine, soit à l'aide de pompes pneumatiques, soit par la vapeur condensée, soit par l'écoulement de l'eau remplissant la tonne, comme dans le système barométrique. — Quel que soit le mode de faire le vide, on doit toujours préférer, au point de vue de la salubrité, de le faire à l'usine. On évite ainsi l'emploi d'une locomobile sur place, il n'y a plus aucun bruit, aucune fumée. On supprime aussi complètement les fraudes consistant dans le déversement partiel des tonnes

à l'égout, car les ouvriers étant obligés de revenir chaque fois à l'usine pour vider leur tonne et prendre leur vide, n'ont plus aucun intérêt de vider leurs tonnes en route. Un service bien organisé fonctionne dans ces conditions dans la banlieue ouest de Paris et dans les XVIe et XVIIe arrondissements et donne d'excellents résultats.

La théorie indique que, pour obtenir dans un récipient un vide de 70 cent. de mercure, il est nécessaire de retirer par les pompes 2 fois 1/2 le volume du récipient. D'après des expériences faites à l'Administration des Télégraphes, il faudrait compter en pratique 3 fois 1/2 ce volume.

Lorsque le vide est fait dans la tonne, elle est amenée le plus près possible de la fosse à vider, et mise en communication avec elle par une série de tuyaux assemblés appelés *colonne*. Les joints doivent être parfaitement étanches pour conserver le vide, et le joint Keizer a l'avantage de la rapidité de pose et d'un maniement facile.

On pourrait encore adopter à demeure un tuyau en fer d'un gros diamètre, allant du fond de la fosse au bord du trottoir de la rue, et enfermé dans une boîte en fonte analogue à celles des prises d'eau sous trottoir. On ferait ainsi le service de jour sans ouvrir la fosse, sans odeur ni dérangement. Il paraîtrait qu'en Hollande, ce système a été appliqué et étendu. Tous les tuyaux ainsi posés, sont reliés par une conduite centrale passant sous la rue à une pompe puissante située hors de la ville, dans l'usine à engrais.

TRAITEMENT DES VIDANGES.

Les vidanges amenées hors des villes sont traitées de diverses manières, et d'abord suivant qu'elles sont mélangées aux eaux d'égouts ou extraites séparément.

En Angleterre, presque toutes les villes déversent les matières fécales à l'égout avec les eaux ménagères. A Édimbourg, à Londres, à Milan, à Bruxelles et dans beaucoup d'autres villes, on s'est servi du sol pour épurer les eaux-vannes d'égout. De grandes cultures, des prairies sont irriguées constamment par ces eaux qui déposent à la surface et dans l'intérieur du sol, les matières azotées et organiques nécessaires à la nutrition des plantes. A Paris, les essais faits depuis plusieurs années dans la presqu'île de Gennevilliers semblent avoir donné des résultats assez satisfaisants, pour qu'un plus vaste projet veuille étendre jusque dans la forêt de Saint-Germain, près d'Achères, les bienfaits d'une irrigation et d'une épuration méthodique des eaux d'égouts, qui seront de plus en plus chargées des matières de vidange, par l'application générale du système diviseur devenant obligatoire.

Actuellement encore les vidanges enlevées des fosses fixes sont amenées dans différents dépotoirs, situés autour de Paris, et abandonnées dans des bassins couverts. Par décantation la partie liquide plus ou moins claire sert à la fabrication des sels ammoniacaux, et se rend dans les appareils distilla-

toires de cette fabrication; les dépôts solides ou pâteux, sont dirigés sur des plaques de fonte chauffées par les chaleurs perdues des eaux résiduaires provenant de la distillation. C'est ainsi que jusqu'à ce jour la Compagnie Lesage, dans ses usines de Billancourt, de Choisy le Roi et d'Aubervilliers, traite les matières épaisses. L'usine de Nanterre, appartenant à la Compagnie Parisienne, a été établie suivant ces mêmes principes. Mais il y a dans ce mode de travail des odeurs nauséabondes, des gaz mêlés à la vapeur d'eau, dont il est difficile de se débarrasser complètement, et qui gênent beaucoup le voisinage. Et cependant ce mode de séchage sur plaques de fonte est un progrès auprès de ce qui se faisait, de ce qui se fait encore, de laisser les matières se dessécher d'elles-mêmes en plein air, par la seule action du soleil et demandant souvent quatre et cinq années, avant d'être livrées à la consommation, mais perdant souvent 2 à 3 pour 100 d'azote.

Depuis longtemps les inventeurs ont cherché des procédés nouveaux pour se débarrasser de suite des vidanges, et supprimer en partie les dépotoirs et leurs odeurs. Nous indiquerons quelques-uns de ces procédés.

Procédé Johnson. — Ce procédé est employé, paraît-il, à Londres, avec succès. Il consiste à mélanger le *sewage*, ou eau des égouts contenant les vidanges avec de la chaux, puis à faire passer ce mélange dans des filtres-presses spéciaux, au moyen d'une pompe à air. Des essais de ce procédé faits avec des vidanges de Paris, n'ont pas donné de résultats complets; la chaux a dû être abandonnée et remplacée après plusieurs tâtonnements, par la cryolithe (fluorure double de sodium et d'aluminium).

Procédé Gautier et Guéroult. — Il consiste dans l'application aux matières de vidange de la presse hydraulique de Bertin-Godot, Degoix et Goubet, employée déjà avec succès dans les sucreries pour presser la pulpe de betteraves. La pression peut atteindre 150 atmosphères, ce qui est inutile, car une pression de 4 à 5 atmosphères doit suffire, et des crochets d'enclenchement placés à chaque plateau, permettent de garder la pression aussi longtemps qu'on le désire. Préalablement le tout-venant doit être traité par le Saint-Luc ou tout autre précipitant, puis décanté, et c'est seulement la matière épaisse qui est passée à la presse hydraulique; donnant après l'opération des tourteaux solides, titrant 4 à 5 pour 100 d'azote. Le liquide décanté peut servir à la fabrication du sulfate d'ammoniaque. — Il est à souhaiter que des essais en grand puissent être faits de ce procédé, afin de pouvoir être fixé sur son rendement pratique.

Procédé Cavalier, de Mazancourt. — On fait d'abord une précipitation à chaud, une véritable défécation dans une chaudière au moyen d'un réactif, dont l'inventeur ne donne pas la composition, et qui peut varier suivant la nature du tout-venant à traiter. La filtration s'opère à travers un filtre-presse Farinaux légèrement modifié, et le séchage de la masse a lieu dans

le filtre au moyen d'une insufflation d'air chaud. Ce procédé n'est pas encore sorti de la période des essais.

Procédé Hennebute et de Vauréal. — Ce procédé comprend deux opérations : 1° séparation de la matière solide de la partie liquide, par l'addition de 2 à 3 millièmes de sulfate de zinc d'abord, puis 5 à 20 millièmes de chaux. La matière est décantée au bout de quelques heures de repos dans un bassin, la partie solide est passée aux filtres-presses Farinaux, et donne des tourteaux contenant environ 3 pour 100 d'azote, 3 pour 100 d'acide phosphorique, et 20 pour 100 d'eau ; 2° distillation de la partie liquide provenant de la décantation ajoutée à celle provenant de la filtration, qui est envoyée dans des appareils spéciaux pour la fabrication du sulfate d'ammoniaque, dont nous parlerons plus loin. Une usine se monte en ce moment près de Paris, pour exploiter les appareils Hennebute.

Procédé Coquerel. — Il consiste à ajouter aux matières de vidange du phosphate acide d'alumine et à chauffer le mélange dans un monte-jus jusqu'à 60 à 75 degrés, puis à le faire traverser un presse-filtre ordinaire, système Farinaux, sous une pression de vapeur de cinq atmosphères. On obtient des tourteaux plus ou moins secs, suivant la nature de la vidange. Une grande presse de vingt-quatre plateaux, peut donner 2,000 kilos d'engrais humide par vingt-quatre heures.

Les liquides sortant des filtres-presses sont limpides, mais exigent une énorme quantité de chaux pour dégager l'ammoniaque. Les engrais secs titrent 2 1/2 pour 100 d'azote, et 7 à 8 pour 100 acide phosphorique en grande partie insoluble. Ce procédé pourrait convenir avec avantage pour traiter les matières épaisses de vidange, sans utilisation des liquides. C'est ce qu'on veut essayer en ce moment à Bondy, pour épuiser les stocks des bassins abandonnés depuis longtemps.

Procédé Collet. — Des expériences suivies en ce moment par les ingénieurs de la Ville, dans l'usine expérimentale de l'inventeur, à Aubervilliers, donnent quelque intérêt d'actualité à ce procédé. On traite à la fois 5 mètres cubes de tout-venant dans un bassin, par un réactif ayant l'aspect d'une poudre noire, et devant être probablement du sulfate de peroxyde de fer très acide, à la dose de 275 à 280 kilogr. Il se produit un dégagement très abondant de gaz, et il se forme à la surface une mousse, épaisse, flottante ou *chapeau*, qui double le volume primitif. On laisse reposer pendant quatre à cinq heures, on soutire le liquide plus ou moins clair, et la partie solide est envoyée dans un grand cylindre fixe en tôle de 1,80 de diamètre et 10 mètres de long, et en y ajoutant 200 à 250 kilos de phosphate et de sulfate de chaux. Dans l'axe de ce cylindre se meut un arbre garni de palettes, qui brassent constamment la masse, pendant qu'un courant d'air chaud à 55 degrés traverse l'appareil dans sa longueur. Il faut

7 à 8 heures pour obtenir la dessiccation complète, et l'on a un engrais dosant seulement 2 à 2 1/2 d'azote. Les eaux résiduaires soutirées après la formation du chapeau, contiennent encore 4 pour 1000 d'azote ammoniacal à l'état de sulfate, c'est-à-dire autant que les eaux-vannes primitives, mais il n'y a plus que quelques traces seulement d'azote organique et d'acide phosphorique, lesquels se retrouvent en totalité dans l'engrais. De plus, le liquide n'est pas clair, et il est douteux qu'il puisse, dans cet état, être envoyé dans les égouts ou dans les rivières.

C'est donc en résumé un procédé de dessiccation des matières épaisses, plutôt qu'un traitement complet des vidanges. Et on remarquera, que pour obtenir cette dessiccation dans les expériences qui ont été faites, on employait près de 900 kilogr. de réactif pulvérulent, à l'état sec, pour obtenir seulement 1.300 kil. d'engrais desséché. On a donc produit en réalité la différence ou 400 kil. d'engrais provenant de la vidange.

Four Czechowicz. — Ce four, comme le précédent, est destiné spécialement à dessécher les matières épaisses obtenues soit par précipitation, au moyen d'un réactif, soit par décantation par le simple repos, soit par évaporation dans le vide, comme à Bondy. Une chambre de fourneau assez vaste communique par une large tubulure en fonte, formant joint, avec un four cylindrique tournant sur des galets et dont le mouvement est donné par un engrenage placé sur la circonférence. On peut obtenir 2,000 à 2,500 kil. d'engrais sec par opération durant de 12 à 14 heures, et les expériences ont donné 6 kil. d'eau évaporée pour 1 kil. de charbon brûlé. — Cet appareil muni d'un condenseur rotatif, d'un condenseur épurateur pour absorber les gaz et les vapeurs pendant la dessiccation, est assez bien combiné et semblerait un perfectionnement pour le traitement des matières solides, accumulées dans les dépotoirs. Mais au point de vue du traitement complet des vidanges, il aurait l'inconvénient de rejeter les liquides chargés de sels ammoniacaux, et de détruire à haute température une partie de l'azote organique de l'engrais.

Four Firmann. — Dans cet appareil proposé, il y a quelques années, pour le dessèchement des vidanges, le four cylindrique est fixe, et la matière est constamment agitée par des palettes fixées sur un arbre horizontal. Ce cylindre est à double enveloppe, et reçoit un courant de vapeur, qui peut porter les matières de 90 à 100 degrés.

Ce four n'est plus actuellement employé pour la vidange, mais a donné, paraît-il, de bons résultats pour le dessèchement du sang et des matières animales en décomposition.

Système Farquhar et Oldham. — MM. Farquhar et Oldham font en ce moment même, au dépotoir de la Villette, des essais avec un filtre vertical dans lequel, après divers essais infructueux, on a choisi pour matière filtrante simplement de la sciure de bois préalablement mouillée. Il est

douteux cependant qu'on obtienne des résultats pratiques bien satisfaisants, car le tout-venant est additionné seulement de 3 pour 100 de chaux, ce qui paraît bien insuffisant pour obtenir une matière capable d'être filtrée.

Appareil Piquemal. — L'originalité de cet appareil assez compliqué et encombrant, consiste dans l'emploi simultané, pour obtenir une filtration à travers une partie conique, garnie de toiles filtrantes, de la pression d'une pompe à air d'un côté, et du côté opposé d'un vide à 70 cent. de mercure obtenu par une pompe pneumatique. Comme toujours la vidange est traitée préalablement par un réactif capable de coaguler une partie des matières gommeuses et mucilagineuses et de fixer l'ammoniaque. Cet appareil, essayé à Paris, n'a pas encore donné des résultats pratiques et satisfaisants.

Fabrication du sulfate d'ammoniaque.

Les sels ammoniacaux contenus dans les urines, dans les liquides des vidanges se rencontrent sous la forme de sels volatils à l'état de carbonate et de sulfhydrate, ou bien de sels fixes à l'état de sulfate, de phosphate et de chlorhydrate. — Les sels volatils se dégagent seuls à la température ordinaire, et mieux sous l'action de la chaleur de 80 à 100 degrés. Les sels fixes exigent la présence d'une base, potasse, soude ou chaux pour se décomposer et laisser dégager l'ammoniaque. De là la nécessité d'avoir des appareils distillatoires, pouvant recevoir une addition de chaux à la fin de la distillation, si l'on veut que les eaux-vannes soient complètement épuisées en sortant des appareils.

Appareil Marguerite et Sourdeval.— Il se compose essentiellement d'une colonne distillatoire analogue à celles employées dans la fabrication des alcools. Les vapeurs provenant de la distillation passent de plateau en plateau et se rendent dans un serpentin refroidi par des eaux-vannes à traiter. Ces vapeurs se composent en grande partie de vapeur d'eau, entraînant du carbonate d'ammoniaque. Leur condensation donne une solution qui sert à la préparation des sels ammoniacaux, et le gaz qui a échappé à la condensation est dirigé dans un bac contenant de l'acide sulfurique à 53° Baumé où il forme du sulfate cristallisé. Les eaux résiduaires sont envoyées dans de grands bassins recouverts de plaques de fonte, sur lesquelles on étend les matières épaisses provenant des bassins de dépôt.

Un grand nombre de ces appareils sont installés dans les environs de Paris par la Compagnie Lesage, la Compagnie Parisienne, l'Urbaine; ils distillent une quantité considérable de liquides, mais ils ont l'inconvénient, n'employant pas de chaux, de ne pas épuiser les eaux-vannes. On retire seulement 9 à 10 kil. de sulfate par mètre cube et on rejette à l'égout des eaux contenant encore 3 à 4 pour 1000 d'azote ammoniacal.

Appareil Chevalet. — L'appareil Chevalet réunit toutes les conditions théoriques exigées pour l'épuisement complet de l'ammoniaque des eaux-vannes. Le liquide obtenu par décantation dans des bassins de dépôt est réchauffé d'abord par les chaleurs perdues des eaux résiduaires, puis il descend successivement à travers cinq cuves dans lesquelles il se distille et abandonne les gaz volatils. Dans un dernier compartiment plus vaste que les précédents, on ajoute 5 à 6 pour 100 de chaux, l'évaporation continue et se termine dans de grandes chaudières horizontales à feu nu, où les dernières traces d'ammoniaque sont entraînées par la vapeur d'eau produite, et qui sert à distiller tous les liquides contenus dans les compartiments décrits précédemment. Les eaux résiduaires, contenant un excès de chaux, sont parfaitement inodores, elles retiennent seulement 3 à 5 millièmes d'azote ammoniacal et peuvent donner, par décantation ou par filtration dans un filtre-presse, un engrais titrant 1 1/2 pour 100 d'azote et 5 pour 100 d'acide phosphorique, recherché pour certaines natures de terrains.

L'inventeur a même appliqué son appareil non seulement au traitement des liquides, mais au tout-venant des vidanges. On obtient alors après distillation un engrais dosant 3 à 3 1/2 pour 100 d'azote et 5 d'acide phosphorique. Dans ce cas il n'y a plus de chauffage à feu nu, c'est la vapeur fournie par une chaudière qui chauffe les compartiments superposés.

Cet appareil est relativement peu coûteux, il peut traiter jusqu'à 80 mètres cubes par vingt-quatre heures, et il est appliqué dans plusieurs usines, à Paris, Lyon, Nice, Dijon, le Havre et Saint-Quentin. Il est appliqué également à la fabrication du sulfate d'ammoniaque par la distillation des eaux résiduaires de gaz.

Appareil Kuentz. — Il consiste dans un ensemble de deux colonnes distillatoires superposées et distinctes. La première de dix-huit plateaux, reçoit les eaux-vannes chauffées préalablement par les chaleurs perdues des eaux résiduaires, et dégage les sels ammoniacaux fixes. De là les liquides passent dans un compartiment intermédiaire situé sur le côté, et sont additionnés de chaux, puis traversent un débourbeur, et se rendent enfin dans la deuxième colonne formée de huit plateaux. Les gaz provenant de ces colonnes sont recueillis à la partie supérieure et traversent un condenseur avant de se rendre dans le bac à acide sulfurique, ou dans une colonne de condensation destinée à produire des eaux ammoniacales concentrées.

Des colonnes de ce genre fonctionnent à Toulouse et à Clermont-Ferrand.

L'inventeur propose, en outre, de détruire les gaz en recouvrant le bac à acide par un couvercle mobile formant joint hydraulique, puis faisant traverser les gaz non absorbés dans un épurateur contenant une dissolution de sulfate de fer et de la chaux en poudre. L'acide carbonique et l'hydrogène sulfuré sont retenus, et les gaz infects restants traversent un foyer à coke spécial où ils sont brûlés.

Appareil Lair. — Cet appareil se compose d'une colonne distillatoire en fonte, composée de 25 plateaux de 0,90 de diamètre. Les eaux-vannes, préalablement réchauffées par les chaleurs perdues, sont envoyées seulement au 20e plateau, descendent progressivement et reçoivent vers le 15e plateau une addition de lait de chaux, environ 7 pour 1000. Arrivées au bas de la colonne, les eaux troubles et chargées de chaux se rendent dans des vases spéciaux, appelés débourbeurs, où elles déposent les matières en suspension. A la sortie de ces débourbeurs, les eaux épuisées se rendent dans des réchauffeurs, où les eaux-vannes à traiter circulant en sens inverse s'échauffent jusqu'à 75 à 80 degrés avant de se rendre à la colonne.

Quatre appareils de ce genre fonctionnent en ce moment à Bondy, d'autres sont installés à Créteil, à Saint-Denis et donnent toute satisfaction. Un appareil peut traiter 35 à 40 mètres cubes de liquide par 24 heures, et brûle près de 2 kilos par kilogr. de sulfate fabriqué. — Le prix de revient établi pour une usine près de Paris, est de 32 à 35 francs les 100 kil. de sulfate.

Appareil Hennebute et de Vauréal. — Les matières de vidange tout-venant sont traitées d'abord par les réactifs indiqués plus haut ; les liquides provenant de la décantation et de la filtration sont réchauffés, comme dans tous les appareils précédents, par les chaleurs perdues des eaux résiduaires ou épuisées. Ils sont ensuite envoyés dans une série de trois cuves où ils subissent une distillation continue. La vapeur d'eau entraînée est condensée dans un tube refroidi par les eaux-vannes fraîches, et les gaz ammoniacaux se rendent directement dans un bac contenant de l'acide sulfurique à 53 degrés Baumé. Le dernier bac reçoit une quantité de chaux fixée à 1 millième par les inventeurs et qui doit être insuffisante pour décomposer les sels ammoniacaux fixes. On sera d'ailleurs fixé prochainement sur la valeur certaine du traitement complet des vidanges par ce procédé, car une usine se monte en ce moment à Villejuif avec ces appareils.

Conclusions. — En résumé, l'évacuation complète des vidanges par les égouts est un système, qui devra toujours être préféré au point de vue de l'hygiène publique, mais à la condition d'avoir des égouts fermés à fortes pentes sans contact avec l'atmosphère, comme à Londres et dans d'autres grandes villes. — Quand on sera conduit à admettre des fosses fixes étanches, les municipalités devront imposer la vidange de jour par procédé atmosphérique, le vide étant fait préalablement à l'usine. — Pour le traitement des vidanges aux dépotoirs, on devra exiger des bassins couverts, la dessiccation immédiate des matières épaisses et des appareils de distillation employant de la chaux et ne rejetant aux égouts ou dans les rivières, que des eaux complètement épuisées et inoffensives. Dans ces conditions la fabrication du sulfate d'ammoniaque et des engrais, sans être absolument inodore, sera beaucoup moins dangereuse pour la santé publique qu'une foule d'établissements insalubres, traitant des matières organiques en

décomposition, situés dans Paris ou près des fortifications, dont les voisins souffrent beaucoup, mais qui n'ont pas eu la mauvaise chance d'impressionner et d'émouvoir l'opinion.

M. le Président remercie M. Faure-Beaulieu de sa communication qui sera insérée *in extenso* dans le Bulletin mensuel.

M. Thomas, après avoir présenté quelques observations qui viennent confirmer tout ce qu'a dit M. Faure-Beaulieu, sur la fabrication du sulfate d'ammoniaque, demande à généraliser la question. Il tient surtout à bien caractériser la lutte qui existe actuellement entre les deux procédés en présence pour la vidange, la fosse et l'égout.

Il croit pouvoir se prononcer sur cette question, d'après l'étude qu'il en a faite lorsqu'il faisait partie du conseil municipal de Paris, après la guerre.

D'après lui, le point de vue agricole est prépondérant, et c'est un dommage irréparable de priver l'agriculture de ce qui lui revient de droit. Verser dans les fleuves par le moyen d'un filtrage les liquides de vidanges et les porter à la mer, c'est méconnaître l'économie agricole.

L'administration de la Ville de Paris est, dit-on, tout à fait décidée à jeter la vidange à l'égout.

Si la Préfecture de la Seine est favorable à ce système; par contre, la Préfecture de police y est opposée. Ses agents réservent leur avis, mais ils sont partisans de la fosse et de l'utilisation des vidanges par la fabrication du sulfate d'ammoniaque. C'est au moment où Paris est doté de fosses étanches, qu'on veut renoncer à la solution de la conservation de la vidange et qu'on prétend la lancer à l'égout sans savoir où on la conduira.

Le système de M. Belgrand et de ses collaborateurs, séduit à première vue par sa grandeur et sa simplicité; il consiste à amener à Paris, une grande masse d'eau au moyen de travaux comparables à ceux des Romains, à répandre abondamment cette eau dans la ville, pour le lavage des rues et des maisons, puis à la recevoir, dans un système d'égouts se réunissant en un collecteur unique qui devait conduire l'eau d'égouts à des bassins de décantation et d'épuration. L'eau fut amenée à grands frais, les égouts de Paris furent construits en partie; mais lorsque le collecteur amena l'eau dans les bassins, on renonça à l'épuration peut-être à tort, par des raisons d'économie.

Les eaux d'égouts furent jetées directement en Seine, à Asnières, par la bouche d'égout du collecteur, et l'on vit se produire l'infection épouvantable du fleuve, qui a été si souvent décrite, tandis qu'autrefois les eaux des égouts multiples qui se déversaient successivement dans la Seine, se mélangeaient à l'eau du fleuve et s'épuraient peu à peu, par l'action de l'air dissous dans l'eau; le collecteur déversant en un seul point l'eau chargée des immondices de toute la ville formait, d'Asnières à St-Denis, des bancs vaseux de matières infectes détruisant les poissons et la végétation et

corrompant toute l'eau du fleuve dans tout son cours jusqu'à Mantes. Cette situation d'ailleurs dure encore à l'heure actuelle.

Le système de M. Belgrand recevait un premier échec.

C'est alors que des ingénieurs furent envoyés en Angleterre, pour y étudier l'utilisation des eaux d'égouts pour l'irrigation des prairies, et que l'on projeta d'utiliser la presqu'île de Gennevilliers pour épurer l'eau d'égout.

On était à la fin de l'Empire, les finances municipales étaient en désarroi, et on voulut transformer la question générale de l'assainissement en une opération fiscale.

On avait amené de l'eau à grands frais, il fallait la vendre aux habitants; mais les propriétaires, s'opposant à la distribution de l'eau dans les maisons, qui avait pour conséquence le remplissage rapide des fosses d'aisances, on fut conduit à l'idée funeste de jeter les matières fécales à l'égout au moins en partie (systèmes des tinettes filtrantes), en faisant payer un droit de chute de soixante francs par an, et en rendant l'abonnement à l'eau obligatoire à tous les étages des maisons. On espérait même ainsi, en *enrichissant* l'eau d'égout, rendre son utilisation agricole plus rémunératrice et pouvoir en faire payer un prix plus élevé par les agriculteurs qui l'emploieraient.

Une société concessionnaire fut même fondée pour la distribution de l'eau d'égout ainsi enrichie, dans la presqu'île de Gennevilliers; cette société échoua, et, pendant que la première moitié du problème, l'infection des égouts, recevait partiellement son exécution, l'autre moitié, l'épuration de l'eau d'égout, qui aurait dû être réalisée la première, avançait très lentement, de sorte que l'eau d'égout de plus en plus infecte, continuait de couler directement dans la Seine.

Cependant des machines élévatoires puissantes étaient construites, des canalisations étendues sillonnaient la presqu'île de Gennevilliers, et le conseil municipal, en votant ces dépenses, aurait pu s'apercevoir, dès 1873, par l'examen des projets de cette canalisation, dont la conduite maîtresse, de Clichy à Bezons, avait une section constante d'un bout à l'autre, que l'administration avait le dessein, non avoué à cette époque, de conduire l'eau d'égout plus loin, dans la presqu'île de Saint-Germain, comme on le propose aujourd'hui, pour aller ensuite gagner d'autres plateaux au fur et à mesure que les surfaces irriguées auront été reconnues insuffisantes, la solution promise reculant toujours et les dépenses engagées s'augmentant par des mécomptes successifs.

C'est qu'en effet, les matières fécales de deux millions d'habitants ne peuvent pas être utilisées sur des surfaces aussi restreintes que celles qu'on avait en vue, et que la solution de Gennevilliers et d'Achères, qui est bonne, suffisante pour l'épuration de l'eau d'égout sans mélange de vidange, est insuffisante ou désastreuse à tous les points de vue si la chute des vidanges à l'égout qui existe actuellement pour 15,000 maisons, continue à se produire, et doit être étendue à 80,000 maisons. Il faudrait d'ailleurs, ainsi que

l'a déclaré le conseil d'hygiène, accroître dans d'énormes proportions le cube d'eau amené à Paris pour être versé dans les égouts.

L'utilisation agricole des matières fertilisantes contenues dans les eaux d'égout est loin d'être complète; même pendant la partie de l'année où les plantes végètent activement, l'irrigation pratiquée sur un sol sableux consiste en un filtrage qui laisse écouler à la nappe souterraine ou à la rivière la plus grande partie des sels et des matières azotées en dissolution dans l'eau. Pendant l'hiver, lorsque la végétation est suspendue, la totalité des matières fertilisantes dissoutes est perdue.

L'irrigation est donc un procédé de débarras de l'eau d'égout, mais ce n'est pas un procédé rationnel d'utilisation agricole. On doit le recommander et s'en servir pour absorber et utiliser les eaux d'égout, sans y mélanger les matières fécales, et dans cette acception, l'irrigation sur les presqu'îles de Gennevilliers et de Saint-Germain, sera une solution complète et excellente de la question de l'eau d'égout. Que si, au contraire, on persévère à mélanger les matières fécales à l'eau d'égout, la solution devient déplorable, d'abord au point de vue agricole, parce que l'utilisation sera illusoire, ensuite, au point de vue financier, parce qu'il faudra augmenter dans une proportion énorme la quantité d'eau amenée à Paris et que les surfaces des presqu'îles de Gennevilliers et d'Achères sont tout à fait insuffisantes. Enfin il y a une autre question bien importante aussi, celle de la salubrité.

M. Léon Thomas compare, au point de vue de la salubrité, le système de vidange à l'égout avec le système de vidange par fosses fixes, il rappelle qu'il ne faut pas confondre les mauvaises odeurs avec les miasmes, pas plus que l'incommodité avec l'insalubrité. L'expérience des fosses fixes est ancienne, elles sont plus ou moins bien désinfectées et incommodes. Quoi qu'il en soit, il paraît prouvé que les germes des maladies épidémiques, que d'après les beaux travaux de M. Pasteur, on croît reconnaître dans des organismes vivants, vibrions, bactéridies, ferments figurés, ne résistent pas aux actions de transformation qu'éprouvent dans la fosse les matières fécales; et dont la principale est la transformation de l'urée en carbonate d'ammoniaque avec un peu de sulfhydrate.

Si les matières fécales à l'état frais ont été reconnues souvent comme un agent redoutable de contagion, il paraît établi au contraire que les matières fécales fermentées sont sans action nuisible; de là l'immunité bien connue dont jouissent les vidangeurs, et l'absence d'insalubrité, sinon d'inconvénients, du voisinage des dépotoirs.

On peut craindre à bon droit qu'il n'en soit pas de même du voisinage de ces immenses étendues de terrain sur lesquelles seraient répandues les matières fécales diluées dans l'eau d'égout. Là, pas de fermentation. Les germes morbifiques, s'il s'en trouve, desséchés à la surface du sol seront enlevés par le vent avec les poussières, ingérés par les habitants, et pourront propager de graves épidémies.

Si l'on n'a jamais relevé de cas de propagation d'épidémies par les fosses ni par les matières de vidange, par contre, il est avéré que la propagation de fièvres pernicieuses et notamment de la fièvre typhoïde est causée souvent par l'absorption d'eau contaminée par des matières fécales, par exemple lorsqu'un puits communique avec une fosse non étanche. Il est donc dangereux de laisser couler à la Seine de l'eau d'égout souillée par de la matière fécale fraîche.

On ne peut admettre enfin la chute des matières fécales à l'égout que dans des égouts fermés, sans communication avec l'air des villes et que si les moyens d'écoulement et de nettoyage sont suffisants, ce qui n'a pas lieu à Paris.

M. Léon Thomas donne donc, au point de vue de la salubrité, la préférence à la fosse fixe sur la vidange à l'égout. La fosse doit être conservée; mais le système de vidange doit être complètement amélioré, depuis le cabinet de l'appartement jusqu'à la fin du traitement dans l'usine à sulfate d'ammoniaque. Quand même la vidange à l'égout devrait prévaloir et se généraliser un jour, il y aura des fosses fixes dans Paris pendant bien longtemps encore, et les pratiques actuelles qui, d'après M. Faure-Beaulieu, n'ont pas changé depuis 1818, ne peuvent pas être tolérées plus longtemps.

La fosse doit être parfaitement étanche, elle doit être désinfectée aussitôt qu'elle a été vidée ; pour cela il suffit d'y verser du sulfate de zinc. Si l'on veut, pendant la période de remplissage de la fosse, arrêter tout dégagement de gaz odorants, il suffit d'ajouter encore un peu de sulfate de zinc de mois en mois; mais, pratiquement, il n'y a lieu d'en mettre qu'au commencement de l'été.

La dépense que cette désinfection entraîne est tout à fait insignifiante, le kilogramme de sulfate de zinc coûtant 20 centimes. Enfin, on doit désinfecter encore avant d'opérer la vidange de la fosse. Le dégagement de gaz par les tuyaux d'évent est tout à fait nul; on ne perçoit d'odeur qu'à certains jours de basses pressions barométriques par le fait de la dilatation de l'air contenu dans la fosse. Les tuyaux d'évent pourraient donc même être supprimés.

La vidange de la fosse doit être faite par des moyens nouveaux et perfectionnés. M. Léon Thomas se rallie à tout ce qu'a dit M. Faure-Beaulieu sur ce sujet.

De même pour le traitement des matières dans l'usine à sulfate d'ammoniaque. Là les progrès réalisés ou en cours d'étude sont considérables. Les plaintes justifiées de la population parisienne recevront toute satisfaction, si l'administration de la Préfecture de police sait exiger ce qu'elle est en droit d'obtenir.

Les matières doivent être reçues à l'usine dans des espaces clos et traitées entièrement le jour même de leur arrivée, de manière à éviter toute accumulation.

Les eaux-vannes ne doivent retourner à la rivière que dépouillées de toute matière azotée, enfin les gaz non condensés par la fabrication du sulfate d'ammoniaque doivent être complètement désinfectés, ce qui n'a pas lieu jusqu'à présent.

On a dit tout à l'heure que ces gaz devaient passer sous la grille des foyers pour être brûlés, mais que cette prescription n'était pas observée et que les gaz étaient mélangés à l'air chaud au-dessus du foyer, puis envoyés dans la grande cheminée.

Il ne peut pas les envoyer sous le foyer, car ces gaz sont formés de vapeurs d'eau pour la plus grande partie ; les foyers s'éteindraient. Mais cette vapeur d'eau contient non seulement quelques vapeurs de sels ammoniacaux, mais aussi des vapeurs d'huiles essentielles particulières aux excréments humains (indol, scatol, etc.), vapeurs tout à fait comparables aux émanations des plantes.

La vapeur d'eau transporte au loin cette essence qui va se condenser avec elle, surtout vers le soir, dans les quartiers où le vent porte les lourdes vapeurs qui sortent des cheminées des usines de sulfate d'ammoniaque.

Condensez la vapeur d'eau, et l'huile essentielle sera condensée. Il suffit de faire passer les vapeurs dans une colonne de coke arrosée d'eau froide ; c'est ce qui se fait dans beaucoup d'usines à vapeurs incommodes, telles que la fabrication des superphosphates par exemple.

Mais il paraît que pour obtenir la suppression absolue des odeurs, il faut encore faire passer les gaz dans une colonne à cascade d'acide sulfurique nitreux, analogue à la colonne de Gay-Lussac de l'appareil de fabrication d'acide sulfurique. On oxyde ainsi complètement les dernières traces de matières. C'est le procédé de MM. Girard et Pabst qui est, je crois, à l'essai dans une usine de vidanges. Ce traitement devra être généralisé et appliqué dans toutes les usines de création récente qui entourent Paris.

Il n'y avait autrefois pour Paris qu'un seul grand dépotoir : la voirie municipale de Bondy. Les matières apportées à la Villette par les tonnes de vidange étaient refoulées dans un tuyau jusqu'aux bassins de dépôt, où la poudrette se faisait par évaporation à l'air libre. La Compagnie Lesage, qui avait la concession de la voirie de Bondy, avait commencé le sulfate d'ammoniaque.

En 1871 le bail était arrivé à son terme. La Ville de Paris aurait pu, à cette époque, faire de l'industrie des vidanges une entreprise municipale privilégiée basée sur l'exploitation de la voirie de Bondy, analogue à ce qui existe pour le gaz, l'eau ou les transports en commun, en favorisant la fusion des entreprises de vidange avec la Compagnie Lesage qui disposait de plus de la moitié des matières.

L'administration municipale, préoccupée exclusivement de la solution de la vidange à l'égout, se contenta de livrer l'exploitation de la voirie de Bondy aux hasards d'une adjudication qui ne reposait sur aucune base certaine ; de sorte que plusieurs compagnies se sont succédé à Bondy,

accumulant les ruines et laissant l'infection s'accroître; car aucune d'elles n'a pu encore supprimer le stock de vidanges qui existait en 1871, et toutes les matières qui y ont été conduites depuis ont dû être évacuées directement en Seine par la rigole de Saint-Denis.

L'adjudication qui consacrait l'obligation pour les entreprises de vidanges, de conduire à Bondy la totalité des matières ou de n'y rien envoyer, eut pour résultat le développement de petits dépotoirs de la banlieue de Paris et leur transformation en grandes usines de sulfate d'ammoniaque; de sorte qu'une ceinture d'établissements infects s'étendit autour de Paris et que des plaintes fondées s'élevèrent de toutes parts, dont l'exemple le plus frappant est celui de l'usine de Nanterre, qui a été fermée il y a quelques mois par décision du Préfet de police, pour inexécution des prescriptions administratives, mais qui va reprendre bientôt ses travaux, après amélioration des appareils, car on ne peut supprimer un établissement autorisé que par voie d'expropriation.

En admettant que toutes les améliorations reconnues possibles soient appliquées aux usines de sulfate d'ammoniaque, il faut convenir que la division du traitement des vidanges, entre de nombreuses usines réparties autour de Paris, est une solution rationnelle au point de vue des transports, qui se font par voitures ou par bateaux-citernes. Elle nécessite seulement l'adoption des procédés de fabrication les plus perfectionnés, à cause du voisinage immédiat de la Ville.

En résumé :

1° L'irrigation à Gennevilliers et à Saint-Germain doit se faire à l'eau d'égout sans mélange de matières fécales.

2° La vidange doit être conservée, transportée et traitée par des moyens perfectionnés.

Ces deux solutions doivent être appliquées aussi bien dans l'intérêt de la salubrité, que dans l'intérêt de l'agriculture et des finances de la Ville de Paris.

M. Léon Thomas termine en disant : « Si le Ministre de l'Agriculture avait le sentiment de son devoir, il défendrait à toute ville de laisser perdre la moindre quantité d'engrais, et il s'opposerait à l'exécution des projets de la Ville de Paris.

M. Émile Trélat. Après l'intéressante communication de M. Faure-Beaulieu, M. Thomas me paraît avoir placé la discussion sur son véritable terrain. J'avais demandé la parole avant qu'il la prît. Mais à l'heure qu'il est, je me sens dépourvu de temps et de notes prises sur ce qui vient de nous être dit pour entreprendre un plaidoyer qui serait absolument la contre-partie de la thèse de M. Thomas. Je ne puis, pourtant pas, laisser sans réponse aujourd'hui certaines affirmations produites par le préopinant. Il a dit : *Si le ministre de l'agriculture était bien inspiré, il interdirait légalement à toute ville de laisser perdre ses matières fécales.* Je ne saurais blâmer le juste senti-

ment qui a dicté à M. Thomas ce conseil. Mais, sans me demander comment un ministre pourrait satisfaire un pareil vœu, je dirai volontiers, de mon côté : *Si l'État était bien inspiré, il devrait décréter la salubrité des villes et de la capitale avant tout.* Car enfin, Messieurs, vous savez bien que c'est une question de première gravité que la santé dans une cité comme Paris. Les 2,000,000 d'habitants de Paris, cela représente le *dix-huitième* de la population de France. Mais de plus, cette agglomération constitue l'atelier intellectuel et le centre des progrès économiques de la nation. La santé des Parisiens est une question nationale. Il faut que Paris soit sain. Mais la salubrité de Paris est loin d'être aussi commode à administrer aujourd'hui qu'il y a soixante ans. La difficulté croît énormément avec le nombre des habitants dans une pareille question. La fosse fixe établie dans chaque maison, pouvait être, en 1818, un *desideratum* suffisant dans un Paris de 700 ou 800,000 âmes. Aujourd'hui, c'est une solution absolument mauvaise. L'emmagasinage des matières fécales sous les maisons est devenu inadmissible. Quoi qu'en dise M. Thomas, les hommes compétents sont unanimes à le considérer comme un danger pour la santé publique. L'hygiène commande d'évacuer au plus tôt ces matières, de leur refuser tout séjour dans les habitations. Paris doit être pourvu au plus tôt d'un vaste système abducteur souterrain, qui assure la régularité et la permanence de ce service. Il est en grande partie exécuté. Il sera terminé en quelques années, et cela est nécessaire.

M. Thomas a légitimement parlé des exigences de l'agriculture, qui proteste contre toute perte d'engrais. Mais comment donc le régime des égouts que combat M. Thomas, peut-il être accusé de gaspiller l'engrais parisien? Mon honorable contradicteur a présenté les cultures de Gennevilliers, qui sont le résultat immédiat de l'utilisation de ses eaux d'égout, sous le jour d'un désastre. Mais, au contraire, si les premiers essais de Gennevilliers, n'ont porté que sur quelques hectares, l'emploi des eaux d'égout s'y est développé avec une rapidité étonnante, parce que les résultats sont excellents. C'est sur 400 hectares qu'on voit aujourd'hui nos eaux d'égout non seulement se dépenser au profit de la culture, mais se purifier complètement avant de retourner au fleuve. Quand j'entends M. Thomas considérer l'opération de Gennevilliers comme un simple filtrage d'eau et un simple colmatage de matières, je crains qu'il n'ait pas suivi complètement la belle opération qu'il condamne.

Sur le territoire de Gennevilliers, qui est un sol essentiellement perméable, lorsqu'on répand l'eau chargée de matières organiques minérales, elle commence à déposer à la surface les particules les plus lourdes et les plus grosses; puis elle entraîne en descendant les matières plus fines qu'elle tenait en suspension; puis, quand l'eau ne contient plus que des corps en dissolution, elle imbibe les couches sous-jacentes. Et, comme le sol est composé de petits grains minéraux très nombreux, les surfaces où reposent les eaux sont très développées. Et, comme ces grains indépendants laissent pénétrer partout l'atmosphère, les contacts entre celle-ci et

le liquide sont très multiples. Cela constitue un laboratoire d'oxydation très énergique et très prompte, où les matériaux en dissolution aussi bien que ceux en suspension dans les eaux d'égout, sont changés en acide carbonique, en eau et même en acide azotique, tous produits absolument innocents. Voilà la solution de Gennevilliers !

Mais, il faut le remarquer, ce n'est pas là un simple filtrage. Il s'en faut de tout. Le simple filtrage en terrain perméable, emplit les fosses du sol, l'encrasse et le rend promptement inefficace. L'opération de Gennevilliers brûle les matériaux apportés au bénéfice de la végétation qui les consomme, et l'action purificatrice du sol est sans cesse entretenue, pourvu qu'on proportionne la surface du sol utilisé, à la quantité d'eau à traiter.

Ce fonctionnement a été admirablement élucidé par les beaux travaux de MM. Schlœsing et Müntz. Ils ont montré que, le terrain fût-il uniquement composé de *sable calciné*, les oxydations s'effectuent jusqu'à celle de l'azote qui, de tous les matériaux ici présents, est le plus difficile à brûler. La seule différence à noter entre l'action d'un pareil sol et celle d'une terre à culture perméable, c'est qu'elle n'est pas immédiatement effective. Il faut que les eaux d'égout traversent pendant quelque temps le sol avant que les oxydations se mettent en train.

Les irrigations de Gennevilliers montrent la solution complète du problème que pose l'enlèvement des déjections de Paris.

Ce n'est plus qu'une question de surface disponible. Il faut conquérir cette surface.

Elle doit nécessairement dépasser de beaucoup les 1,500 hectares de la bordure des bois de Saint-Germain, au sujet desquels on discute tant aujourd'hui. Elle atteindra sûrement plusieurs fois la surface de la capitale, et on aura alors largement amélioré la salubrité de la Ville en même temps que rendu productifs des champs aujourd'hui sans valeur.

Malheureusement on discute et on dispute à outrance sur des questions latérales qui obscurcissent le sujet sans rien avancer. Il est évident que s'il y a des intérêts engagés dans le passé, qui se trouvent lésés, il faudra les indemniser. Mais ce qui est indispensable et urgent, c'est qu'on connaisse et qu'on suive la solution appropriée aux déjections parisiennes. A cet égard, il est démontré qu'elle n'est pas dans la conservation des fosses, et qu'elle impose à la Ville la disposition d'un territoire extérieur pour y étendre suffisamment les procédés de Gennevilliers.

M. de Cossigny croit que M. Thomas s'exagère infiniment les inconvénients du système d'utilisation agricole essayé à Gennevilliers. Quelque principe que l'on adopte, dans quelque voie que l'on s'engage, il faut bien reconnaître que le nettoiement complet d'une immense ville, comme Paris, et l'utilisation des matières impures qui en proviennent constituent, dès qu'on passe de la théorie à la réalisation pratique, une œuvre colossale et qui ne saurait s'improviser. Il n'y a donc pas lieu de s'étonner de l'insuffisance, d'ailleurs plus ou moins prévue dès le principe, de la plaine de Gen-

nevilliers. Mais qu'importe! Dans l'anneau formé par chacun des larges méandres que décrit la Seine, il se trouve d'autres superficies d'alluvions anciennes, de gravier, infertiles comme la plaine de Gennevilliers et pouvant, au besoin, être fertilisées comme elle; et cela depuis Paris jusque dans le département de la Seine-Inférieure. On a donc devant soi une marge plus que suffisante, en quelque sorte indéfinie, pour étendre l'irrigation dans la mesure, quelle qu'elle soit, des besoins qui pourront être constatés.

Quant à la question de salubrité, M. de Cossigny reconnaît, il est vrai, que les travaux de M. Pasteur ont démontré que des germes morbides peuvent être introduits dans le sol avec certaines substances organiques et s'y conserver fort longtemps. Mais cela ne se produit qu'accidentellement, probablement à la faveur de certaines circonstances particulières; encore faut-il, dans tous les cas, que les germes préexistent dans les matières introduites dans le sol. Ce serait aller bien loin et tirer des expériences de M. Pasteur de bien grosses conséquences, que de prétendre que toutes les matières mises dans le sol cultivé, à titre d'engrais ou d'amendements, doivent préalablement avoir passé par le feu ou par le laboratoire du chimiste.

En ce qui concerne plus spécialement les vidanges et les eaux d'égout, la question de salubrité paraît résolue par des pratiques séculaires. Les Flandres belge et française, le Dauphiné, la Toscane et d'autres pays encore, répandent la vidange sur les champs. Quant à Milan, cette ville n'a jamais eu de fosses; là, les eaux d'égouts et les matières fécales se rendent dans des canaux dont les eaux irriguent les magnifiques prairies des environs. Ces prairies, véritable joyau agricole du Milanais, nourrissent de superbes troupeaux de vaches, dont le lait sert à la fabrication du fromage, dit Parmesan, qui s'exporte dans tous les pays civilisés du globe. Pas plus dans les régions où l'emploi de l'engrais flamand s'est vulgarisé, que dans les environs de Milan, il ne s'est jamais élevé la moindre plainte relative à une prétendue infection épidémique.

D'ailleurs, ainsi que cela a déjà été dit tout à l'heure, tous les travaux de chimie agronomique, depuis ceux déjà anciens de M. Boussingault, jusqu'aux plus récents, tendent à prouver que la végétation et le sol perméable sont des agents d'épuration par excellence. D'une part, l'oxygène détermine dans le sol de véritables combustions; d'autre part, les racines des végétaux absorbent, selon toute vraisemblance, divers produits solubles qui se trouvent ainsi soustraits à toute fermentation ultérieure.

Répondant à une objection de M. Thomas, qui prétend que dans les eaux d'égouts la matière utile est trop diluée pour être absorbée par les plantes, M. de Cossigny s'exprime ainsi :

L'expérience acquise dans l'irrigation des prairies, prouve que le sol et les plantes ont une vertu d'assimilation très énergique à l'égard des matières, soit organiques, soit minérales, contenues dans des eaux impures.

Des rivières dont l'eau ne contient que des quantités, on pourrait presque dire infinitésimales de matières fertilisantes, enrichissent néanmoins, d'une manière très sensible, les prairies qu'elles irriguent. Sans doute, par l'irrigation, on est loin d'utiliser, mathématiquement parlant, la totalité de l'engrais contenu dans l'eau ; mais il en est de même à l'égard de tous les engrais quels qu'ils soient, et quel que soit le mode d'application employé.

Répondant à une observation de M. Thomas, relative à l'énorme accroissement de souillure qu'apporterait le déversement des matières solides dans les égouts, M. Émile Trélat fournit les chiffres suivants.

Les égouts débitent actuellement 265,000 mètres cubes par jour.

L'introduction des *solides* n'accroîtrait guère ce volume que de 1/1000. C'est insignifiant. Et si l'on remarque que l'assainissement de la maison parisienne tient à l'alimentation d'eau qu'il faut assurer et que le Conseil municipal et l'administration préparent en ce moment l'apport à Paris de 400,000 à 500,000 mètres cubes d'eau nouvelle ayant cette destination, on verra que, quand nos égouts seront terminés, et quand ils recevront les déjections solides, ils ne conduiront pas une eau sensiblement plus chargée de souillure qu'ils le font actuellement.

M. Trélat ayant dit, en substance, que la solution adoptée par la Ville de Paris, avait de tels avantages qu'elle devrait être préférée, quelle que soit la dépense qui en résultera, et indépendamment du point de vue économique, M. de Cossigny ajoute :

« Je vais plus loin que le préopinant, et je suis convaincu que la voie que poursuit l'administration municipale est la plus économique de toutes les solutions possibles.

« On ne convertit aujourd'hui en engrais commerciaux que des vidanges, et même une partie seulement des vidanges de la capitale. Se figure-t-on ce que ce serait si toutes les vidanges et toutes les eaux d'égout de Paris devaient être réduites, par voie d'évaporation et à force de combustible, à une petite fraction du volume primitif; si le résidu obtenu devait être mélangé à un volume notable de matières lourdes et solides ; si le tout devait être journellement transporté au loin par les chemins de fer ? Croit-on même que ce serait une petite affaire que de soumettre toute l'eau d'égout de la capitale à des réactifs chimiques quelconques, puis d'opérer la filtration ou la décantation de pareils volumes de liquides, d'effectuer enfin la dessiccation des résidus ou des précipités obtenus. Combien n'est-il pas plus simple et plus économique, partout où la topographie locale le permet, de déverser directement sur le sol cultivé, la matière telle qu'elle est, en mettant à profit autant que possible, la loi naturelle de l'écoulement des liquides ? »

M. Thomas fait observer que les sources d'azote sont très limitées. Nous n'avons en France que les déjections des animaux et les vidanges : nous

sommes obligés d'en tirer l'azote dont nous avons absolument besoin pour l'agriculture. On reconnaît bien que notre agriculture ne peut rivaliser avec les autres plus favorisées, qu'au moyen d'engrais artificiels : le guano du Pérou, le nitrate de soude, et le sulfate d'ammoniaque. Or, si nous perdons une partie de ce sulfate d'ammoniaque, nous sommes obligés de le remplacer par le guano, qui devient plus rare. Le nitrate de soude, on ne sait pas ce qu'il va devenir : le prix va probablement renchérir, par suite de la guerre du Chili.

Aujourd'hui, il faut donc moins que jamais perdre la source d'azote que nous avons en France.

M. Thomas ajoute que pendant l'hiver les végétaux ne profitent pas ; par conséquent, pendant cinq mois, tout est perdu. Même pendant l'irrigation telle qu'on veut la faire, les plantes perdront la presque totalité des éléments de fertilité.

Il conclut en rappelant que les fleuves entraînent à la mer chaque jour des quantités d'azote considérables, qui seraient bien utiles à l'agriculture.

C'est le seul moyen d'enrichir notre sol ; nous ne pouvons plus augmenter la surface cultivée en France.

Il nous faut avoir recours à la culture intensive.

M. Trélat fait remarquer qu'on a gagné les Landes en quelques années.

Il craint de s'être mal fait comprendre à propos du laboratoire de Gennevilliers, où l'on utilise de 80 à 90 pour 100 des matières azotées qu'on y déverse. On y a une végétation luxuriante de légumes qui sont exquis et des plus utiles dans les environs d'une grande ville.

M. le Président croit que la discussion doit être terminée là, en attendant qu'on apporte des données nouvelles.

La Société ne peut avoir la prétention de désigner dans une séance quel est le meilleur procédé à suivre. Il croit que les solutions doivent être variables, suivant les cas ; que dans les grandes villes, on doit procéder d'une certaine façon, et que, pour les petites villes, le procédé doit être tout autre.

En un mot, la question demande à être mûrement étudiée et la discussion devra être reprise quand on aura de nouveaux documents.

La séance est levée à 11 heures.

Les Membres nouvellement admis sont :

MM. Angilbert, Barrouin, Buschwalder, Harmel, Jacqmin, Léon (Louis), Léon (Antoine), Montigny, Piedbœuf et de Plazolles.

Séance du 19 Novembre 1880.

Présidence de M. Gottschalk.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 5 novembre, est adopté sous réserve d'une observation de M. Émile Trélat. M. Trélat, qui a défendu la solution de Gennevilliers, contre M. Léon Thomas, s'est aperçu, en lisant la rédaction de son Collègue, insérée au procès-verbal, qu'il avait en lui un allié sur ce point de la question.

Il est donné lecture de trois lettres adressées à la Société au sujet de la question des égouts.

Voici le résumé de ces lettres :

M. Somzée écrit de Bruxelles, que la solution proposée par M. de Coëne, dans la lettre qui a servi de point de départ à la discussion, quelque rationnelle qu'elle soit, présente l'inconvénient d'être difficile et surtout longue à réaliser en pratique. Il faut un remède plus prompt. La meilleure solution est probablement dans la désinfection des matières fécales, et leur utilisation en agriculture.

La dilution des liquides infects dans une masse d'eau, même très grande, ne suffit pas à écarter les causes d'insalubrité; quelle peut d'ailleurs être l'action de l'eau sur la couche de matières fermentescibles, qui tapisse les parois des égouts?

M. Somzée croit devoir signaler à l'attention de la Société, un procédé d'épuration par le carbone désinfectant, qui a donné les meilleurs résultats, partout où il a été employé ; ce produit non seulement purifie, mais encore empêche toute décomposition ultérieure ; il semble donc donner la solution complète de l'assainissement par désinfection et de l'utilisation des résidus en agriculture.

A cette lettre est jointe une notice contenant diverses attestations au sujet de l'efficacité du carbone désinfectant.

M. Chuwab écrit que la dilution dans de grandes masses d'eau est une solution difficile et coûteuse, qui d'ailleurs n'évite pas l'empoisonnement des cours d'eau.

Il serait bien préférable d'établir dans les égouts une canalisation spé-

ciale de diamètre modéré, dans laquelle les matières solides et liquides seraient aspirées puis refoulées mécaniquement à grande distance, pour être converties dans des usines par des procédés convenables en engrais pulvérulents; les égouts ne recevraient plus dès lors que les eaux des rues, ne donnant lieu à aucune cause d'insalubrité; la Seine ne recevrait plus de liquides malsains; ce serait une solution complète et économique.

M. Cacheux rappelle qu'il est bien plus facile de désinfecter les vidanges au moment de leur production, que d'épurer ensuite les énormes quantités d'eau dans lesquelles on est obligé de les diluer. Dans les pays du Nord, on emploie sur une vaste échelle des appareils où les matières fécales sont reçues dans des matières absorbantes, telles que de la terre, des cendres, etc.; l'engrais ainsi obtenu compense par sa vente les frais d'enlèvement.

Il n'est nullement prouvé que le système diviseur si prôné en ce moment soit le plus économique; est-on bien sûr que l'emploi des eaux d'égouts dans la culture maraîchère soit sans influence nuisible sur la santé publique? Les fosses fixes et tinettes mobiles sont une solution plus économique que le système diviseur, tout au moins pour les maisons isolées, dont le nombre à Paris est bien plus considérable qu'on ne le croit, et qui semblent devoir se multiplier dans certains quartiers.

M. le Président fait remarquer que la question très intéressante des vidanges et de l'utilisation des eaux d'égouts reviendra à propos de la communication annoncée de notre collègue, M. Dallot.

M. le Président, avant de donner la parole à M. Armengaud, pour sa communication sur le photophone de M. A. Graham Bell, tient à informer ses Collègues, qu'il a pris soin de remercier d'avance, au nom de la Société, M. Graham Bell, pour l'obligeance qu'il a mise à prêter ses instruments pour la démonstration qui va en être faite. M. Graham Bell, invité à la séance, regrette que des affaires importantes qui l'appellent à Londres ne lui permettent pas d'y assister.

Il est d'ailleurs superflu de parler ici de la personnalité de M. le professeur Graham Bell, dont les travaux sur le téléphone d'abord et sur le merveilleux photophone ensuite, sont connus de tout le monde.

M. J. Armengaud jeune s'exprime ainsi :

Messieurs,

Il y a environ deux mois, mon honorable correspondant de Washington, M. Pollok, un de nos Collègues les plus distingués, vint m'apporter un manuscrit en me disant qu'il renfermait la description d'une nouvelle découverte de M. Graham Bell, plus merveilleuse encore que celle du téléphone. Il s'agissait d'un appareil appelé *photophone*, destiné à transmettre la voix à distance par la lumière. Il ajoutait que M. Graham Bell, qui, à ce mo-

ment, annonçait sa découverte au meeting de l'Association américaine de Boston, allait venir à Paris pour communiquer cette invention à l'Académie des sciences et pour la remercier en même temps du prix Volta de cinquante mille francs, qu'elle lui avait décerné pour l'invention du téléphone.

Je reçus, en effet, quinze jours après, la visite annoncée de M. Bell ; il me pria de lui indiquer quelqu'un qui pût l'assister dans ses démonstrations et ses expériences, et je m'empressai de lui désigner mon ami, M. Antoine Bréguet, le jeune et savant directeur de la *Revue scientifique*. Vous avez vu avec quel talent et quel succès il présenta, au nom de M. Bell, le photophone, à l'Académie des sciences, puis à la Société d'encouragement et à la Société de physique. J'aurais désiré qu'il vînt ici vous faire cette communication, mais il a insisté avec M. le Président, pour que je m'acquittasse de cette tâche et je n'ai pu m'y dérober. Telles sont, Messieurs, les circonstances auxquelles je dois l'honneur de présenter le photophone à la Société des ingénieurs civils.

Je ne pourrai, malheureusement, pas vous montrer tous les appareils qui ont fonctionné à Paris. Ils ont été, en grande partie, expédiés en Angleterre, pour la communication qui a eu lieu hier au soir à la Société royale de Londres. Mais avec les éléments que M. Bell a bien voulu me laisser, et surtout avec les photographies dont je vais vous montrer les projections à l'aide de l'appareil de M. Duboscq, j'espère pouvoir vous donner une idée suffisante des principales et ingénieuses dispositions qui réalisent cette admirable invention. D'ailleurs, vous verrez bientôt les appareils dans leur ensemble, car ils reviendront prochainement à Paris pour y rester toujours, M. Bell en ayant fait don au Conservatoire des Arts et Métiers.

Avant d'aborder l'étude du photophone, il n'est pas sans utilité de rappeler, en quelques mots, le principe et le fonctionnement du téléphone, qui joue un très grand rôle dans la réalisation de la nouvelle découverte.

Dans le téléphone, la transmission de la voix à distance se fait par le concours de l'électricité. Un double fil métallique relie le transmetteur au récepteur, appareils qui sont identiques et réversibles dans le système de M. Bell.

Son appareil téléphonique se compose de trois parties essentielles : une plaque de fer très mince, sorte de membrane métallique, une tige d'acier aimantée dont l'un des pôles est en face de la membrane, et une bobine qui coiffe la même extrémité de l'aimant. Les fils de la bobine du transmetteur se prolongent par un double fil qui va rejoindre la bobine semblable du récepteur. Lorsqu'on parle dans l'appareil, la membrane métallique vibre à l'unisson de la voix, dont le souffle lui communique fidèlement toutes les inflexions de la parole articulée. Cette plaque de fer, en s'approchant plus ou moins du pôle de l'aimant, modifie son état magnétique, et cette modification engendre, par induction dans la bobine, des courants électriques, qui s'élancent dans le fil et vont jusqu'au récepteur. Là, les mêmes circon-

stances se répètent, mais en sens inverse. En traversant la bobine du récepteur, les courants font varier l'intensité magnétique de l'aimant qui, influençant plus ou moins la membrane, la fait vibrer absolument dans les mêmes conditions que la membrane du transmetteur. La parole se trouve donc reproduite d'un bout à l'autre du fil conducteur.

Un phénomène qui doit frapper l'attention dans le fonctionnement du téléphone, c'est la naissance, sous l'action de la voix, de ces courants ondulatoires d'électricité qui traversent le fil téléphonique, et qui sont comme la traduction électrique des vibrations sonores et vocales.

Il y a deux sortes de téléphones : le téléphone magnétique, dont je viens d'esquisser la théorie, et le téléphone à pile, dont le principe a été aussi signalé par M. Bell. Dans les téléphones de cette seconde catégorie, au lieu que ce soit la force de la voix qui fasse marcher l'appareil, c'est un courant électrique qui passe d'une manière continue dans le fil de communication, et la voix ne fait que modifier l'intensité de ce courant.

Après la découverte de M. Bell, la plus saillante en téléphonie est celle de M. Edison, qui apporte deux éléments nouveaux : d'une part, l'intervention de la bobine d'induction pour employer des courants secondaires à la transmission, et, d'autre part, l'idée du charbon interposé dans le circuit pour faire varier l'intensité du courant électrique. Le charbon, mis sous forme de rondelle, est au contact avec la membrane. Quand celle-ci vibre, elle presse plus ou moins la rondelle et modifie, en rapport avec la pression, la résistance opposée au passage de l'électricité. Cette propriété du charbon avait été étudiée par MM. Clayrac et du Moncel, en France, mais M. Edison a le mérite de l'avoir appliquée à la téléphonie. Toutefois, l'invention de M. Edison ne touche que le transmetteur, il conserve le récepteur Bell avec son aimant, sa bobine et sa membrane métallique.

Ainsi donc, que le transmetteur soit magnétique ou à pile, à courants primaires ou secondaires, avec interposition de charbon, sous pression, comme dans le système Edison, ou en équilibre instable comme dans les variantes indiquées par Hughes, et dénommées *microphones*, le récepteur est toujours le même, et c'est là l'organe essentiel.

Avant M. Bell, on avait essayé déjà de faire vibrer des membranes par la voix, on avait fait des *phonautographes*, mais on n'avait pas encore trouvé le moyen de reproduire la parole par un simple diaphragme métallique. Or, dans le téléphone, c'est le récepteur qui réalise cette partie fondamentale du problème de la transmission de la voix à distance.

J'arrive maintenant à la découverte qui fait l'objet de cette communication. Dans le photophone, le fil métallique est supprimé, il n'en est plus besoin, puisqu'au lieu de l'électricité, c'est la lumière qui est l'agent de transmission. Le transmetteur et le récepteur sont donc unis par un simple faisceau de rayons lumineux empruntés au soleil, ou à une source artificielle quelconque, lampe électrique, gaz, bougies, etc. C'est, selon l'expression de M. Bell, l'énergie radiante de ce faisceau qui est mise à contribution pour transporter la voix au loin. La voix s'entend finalement par

un téléphone. Mais comment celui-ci sera-t-il influencé par le faisceau lumineux, comment ce faisceau lui-même sera-t-il mis en état de vibrer comme la parole? Autant de questions que M. Bell avait à résoudre pour arriver à son but. La première exigeait l'emploi d'un corps à la fois sensible à la lumière et à l'électricité. Ce corps existait, c'est le sélénium, et nous expliquerons plus loin comment M. Bell a su l'utiliser.

Vous savez tous que le sélénium est considéré comme un métalloïde par les chimistes qui le placent, à côté du tellure, dans la famille du soufre. Il a été découvert en 1817 par Berzelius et Gottlieb Gahn, qui l'ont isolé d'une pyrite de fer avec laquelle ils cherchaient à préparer de l'acide sulfurique.

Au nombre des propriétés du sélénium, Berzelius avait signalé celle qu'il possède d'être une substance isolante de l'électricité. Mais cette propriété était seulement inhérente à l'état amorphe et vitreux dans lequel il l'avait obtenu. Ainsi que le montrèrent successivement Knox en 1837, puis Hettorf, le sélénium devient conducteur lorsqu'il est chauffé, ou lorsqu'après avoir été fondu il est refroidi lentement. Il a alors changé d'état et est devenu cristallin.

Enfin, en 1873, M. Willoughby Smith fait connaître à la Société des ingénieurs télégraphistes de Londres, que la résistance du sélénium au passage du courant électrique est plus faible à la lumière que dans l'obscurité. Ces résultats sont confirmés par plusieurs physiciens, entre autres par le lieutenant Sale, par M. Adams et par lord Rosse. Ce dernier, par des expériences comparatives faites avec le sélénium et une pile thermo-électrique, démontra que c'est la lumière, et non la chaleur, qui fait varier la résistance électrique du sélénium.

M. Verner Siemens tira le premier parti de cette propriété, en réalisant un photomètre d'une grande sensibilité. Ce photomètre se réduit à une tige de sélénium interposée dans le circuit d'un galvanomètre. A mon avis, cet instrument doit fournir des résultats plus satisfaisants que les autres photomètres fondés sur une observation comparative de deux images, et dont les résultats sont par conséquent exposés aux erreurs personnelles. M. Siemens a construit aussi un œil artificiel dont les paupières s'ouvraient à l'obscurité et se fermaient à la lumière.

Cette singulière propriété du sélénium ne pouvait d'ailleurs manquer d'exciter l'imagination des chercheurs, et il s'en trouva qui se demandèrent si on ne pouvait la mettre à profit pour transmettre les images à distance, en faisant pour la vue ce que le téléphone avait fait pour le son. Comme l'a dit très heureusement M. Bréguet, y avait-il là un moyen de permettre de voir électriquement à Paris ce qui se passe à un point très éloigné, à New-York par exemple? Déjà deux inventeurs, M. Adriano de Paiva et M. Senlecq ont proposé, avec des descriptions assez fantaisistes, il est vrai, des appareils auxquels on a donné le nom de *télespectroscopes* ou *téléphotes*.

Mais si le problème est encore loin d'être résolu, on conçoit qu'il puisse l'être un jour. Des ingénieurs, au nombre desquels je citerai MM. Marcel

Deprez, Maurice Leblanc, s'occupent de la question. M. Bréguet lui-même m'a dit y avoir songé. Ces messieurs prennent tous comme point de départ la combinaison des vibrations de deux diapasons à miroir, permettant de faire déplacer un rayon lumineux dans toutes les directions. Ce rayon, promené sur l'objet dont il s'agit de transmettre l'image, sera projeté sur une première plaque de sélénium placée à la station transmettrice. Sous l'influence du rayon qui varie en intensité et en coloration, des courants électriques ondulatoires prendront naissance et traverseront le fil de communication pour aller impressionner pareillement une seconde plaque de sélénium placée à la station réceptrice. Celle-ci réagira par un mécanisme électro-magnétique convenable sur un système de deux diapasons semblables à ceux de la première station et vibrant synchroniquement avec eux, de telle sorte qu'ils enverront le rayon sur un écran où il reproduira l'image de l'objet. Il va sans dire que ce résultat est fondé sur le principe de la persistance des impressions lumineuses sur la rétine qui, on le sait, est la base du phenakisticope.

Mais, je le répète, le télespectroscope n'est encore qu'à l'état d'espérance, tandis que le photophone, auquel je reviens, est une réalité.

Dans la mise à exécution de son invention, M. Bell et son aide, M. Tainter, ont eu à exercer leur sagacité sur deux points principaux. En premier lieu, par quel moyen pourrait-on faire vibrer un faisceau lumineux, de façon que ces vibrations soient en rapport avec les vibrations d'un son ou de la voix? En second lieu, comment disposer le sélénium pour que, subissant l'énergie de ce faisceau, le sélénium rendu vibratoire produise dans le courant électrique les variations correspondantes de courant qui doivent agir sur le téléphone interposé dans le même circuit? Sur le premier point, les solutions étaient relativement faciles à trouver, car il y avait des précédents pour éclipser un rayon lumineux. Mais une grande difficulté s'élevait en ce qui touche la préparation du sélénium et la forme à lui donner. Bien que conducteur après avoir été fondu, le sélénium présente encore une résistance assez considérable au passage de l'électricité. Pour l'approprier à son emploi dans le photophone, M. Bell a compris qu'il fallait augmenter sa surface et diminuer la longueur traversée par le courant. On verra dans la suite, par quelques exemples, comment M. Bell a satisfait à cette double condition.

(M. Armengaud passe alors à la description des principales dispositions de l'appareil Bell qui sont successivement projetées sur le tableau.)

Tout d'abord M. Bell a construit son photophone pour l'appliquer seulement à la transmission des sons musicaux. L'interrupteur est une roue perforée intercalée entre la source lumineuse et le récepteur. Le sélénium, sous la forme d'une tige ou d'une spirale, est placé avec un téléphone dans un circuit électrique. Le faisceau lumineux provenant du soleil ou d'une lampe électrique est dirigé par un réflecteur sur une lentille, au foyer de laquelle est placée la roue perforée. Les trous pratiqués à la circonférence

de cette roue et séparés par des intervalles pleins, d'une largeur égale à leur diamètre, passent au niveau du point du foyer ou point de convergence des rayons. Lorsqu'on fait tourner la roue, elle détermine sur le faisceau lumineux une succession d'éclairs et d'éclipses. S'il s'en produit 435 par seconde, il y aura autant d'émissions et d'interruptions du courant électrique et, par suite, la membrane du photophone exécutera 435 vibrations, c'est-à-dire rendra la note du *la* normal.

Il se passe ici un fait extraordinaire digne de remarque. C'est qu'en faisant tourner la roue silencieusement, ce qui pourrait avoir lieu dans le vide, on n'engendre en réalité aucun son, on n'ébranle aucun corps matériel. C'est la lumière seule qui vibre et est ainsi à la fois l'agent qui constitue le son et celui qui le transmet.

Voilà pour le transport des sons. Arrivons maintenant à la transmission de la parole. Il ne suffit plus alors de déterminer des intermittences d'éclairs et d'éclipses dans le faisceau lumineux, il faut y produire des vibrations se modifiant sans cesse dans leur vitesse et dans leur intensité en concordance avec les vibrations qui caractérisent la voix. Le premier interrupteur, imaginé dans ce but par M. Bell, est une sorte de transmetteur téléphonique, dont la membrane est reliée avec une plaque percée de fentes parallèles et superposée à une plaque percée de la même manière.

En parlant dans l'embouchure de ce transmetteur, on fait vibrer la membrane, et celle-ci communique ses vibrations à la plaque qui lui est reliée et qui, en oscillant devant la plaque fixe, démasque plus ou moins les fentes livrant passage aux rayons lumineux. Il en résulte que le faisceau subit des variations d'amplitude et d'intensité qui correspondent exactement aux vibrations de la membrane du transmetteur. En tombant sur le sélénium, ce faisceau vibratoire y détermine les mêmes changements de conductibilité, donnant naissance aux courants électriques ondulatoires qui font parler le téléphone interposé dans le circuit.

La première expérience faite avec cet appareil, en mai 1878, a permis à MM. Bell et Tainter de causer à une distance de 218 mètres. Plus tard, ils purent correspondre à une distance de plus de 2 kilomètres. Ils employaient la lumière du soleil, comme d'ailleurs dans toutes les expériences auxquelles ils se livrèrent en Amérique. Ils eurent alors l'occasion fréquente de constater des amoindrissements dans le son transmis, chaque fois que le soleil venait à être obscurci : ce qui leur permit de dire qu'avec le photophone on peut entendre passer les nuages devant le soleil.

Avant de continuer, vous me permettrez une petite digression sur le mécanisme de la voix, pour vous faire sentir combien sont merveilleux les résultats obtenus dans le photophone comme dans le téléphone, et combien sont simples ces appareils qui transmettent et reproduisent la parole, en comparaison avec les phénomènes complexes de la production de la parole articulée. Pour parler, en effet, notre organisme met en jeu un grand nombre de fonctions. C'est d'abord la vibration de la glotte et des cordes vocales sous le passage de l'air qui donne naissance à un son. Ce

son ne devient voyelle que dans la cavité buccale, limitée par le pharynx, le voile du palais et la bouche. C'est cette espèce de résonnateur dont nous modifions le volume à volonté, qui permet de réaliser toutes les combinaisons du son fondamental et de ses harmoniques, combinaisons auxquelles correspondent les différentes voyelles, ainsi que l'a démontré le savant physicien Helmholtz. Mais la voyelle doit généralement s'associer à une consonne qui la commence ou la termine; cette adjonction s'effectue par un mouvement auquel contribuent les lèvres, les dents et la langue. La formation d'une syllabe conduit aux mots, aux phrases, enfin à l'ensemble de la parole.

Tel est, en résumé, le mécanisme de la parole; on voit combien il est complexe. On ne s'étonne donc pas de la complication des appareils qui, avant le téléphone, avaient été imaginés pour reproduire artificiellement la voix humaine. Le premier automate de ce genre fut inventé par M. de Kempelen et parut en France vers 1750. Vous vous rappelez la machine parlante qu'un Américain exhiba à Paris, il y a quelques années. Sa construction lui avait coûté des sacrifices énormes de temps et d'argent.

Quelle admirable simplicité, au contraire, dans les appareils nés avec le téléphone! Dans le récepteur inventé par M. Bell, c'est un simple diaphragme métallique qui reproduit la voix. Que dis-je? Ce n'est même pas tout le diaphragme, c'est seulement son point milieu qui joue le rôle essentiel. Le reste sert, à proprement parler, de plaque résonnante.

La vibration de ce point est la résultante de tous les mouvements qui constituent la parole. On en a une preuve indiscutable dans le phonographe d'Edison. Dans ce remarquable appareil, le style qui fait les empreintes sur le papier d'étain reçoit seulement les impulsions du centre de la plaque. Si vous avez examiné à la loupe les sinuosités ainsi tracées sur le papier d'étain, vous constaterez qu'elles sont loin d'être en rapport de nombre avec les vibrations à transmettre. Quelques anfractuosités suffisent pour reproduire toute une phrase du grand air de «La Traviata.» On se l'explique en assimilant le style à un diapason mis en vibration chaque fois qu'il passe d'une anfractuosité à une autre. Quel meilleur exemple peut-on donner de la synthèse des mouvements de la voix, démontrée par le téléphone et le photophone!

Ces considérations permettent d'expliquer comment M. Bell a pu réussir à réduire à la plus simple expression la disposition de son transmetteur photophonique. Supprimant l'intermédiaire des plaques ajourées, il fait agir directement la membrane vibrante comme interrupteur du faisceau lumineux. Pour cela, il remplace la plaque de fer par une feuille de verre très mince, dont une des faces est argentée. Les rayons lumineux tombant sur ce miroir sont réfléchis et en même temps ébranlés, et ils arrivent dans cet état sur le sélénium placé à la station opposée au foyer d'un réflecteur parabolique.

Il y a lieu de donner ici quelques indications sur la manière dont M. Bell a construit le récepteur de sélénium, pour satisfaire à la double condition qui

a été signalée précédemment. Il a imaginé, avec M. Tainter, un grand nombre de dispositions. Elles consistent presque toujours en des espèces de cases composées de pièces en cuivre, qui sont séparées par des feuilles de papier, de mica ou d'une autre substance isolante, de manière à former des vides qui sont ensuite remplis avec du sélénium fondu. La partie métallique de cuivre affecte tantôt la forme de deux spirales concentriques, tantôt celle de deux plaques superposées. Le plus souvent, enfin, la case présente l'aspect d'un cylindre, étant formée de disques en cuivre placés les uns sur les autres et réunis en deux séries par quantité, comme les éléments d'une pile. Le sélénium n'occupe guère que la surface de cette colonne et, par conséquent, présente relativement à son volume et à sa longueur la plus grande surface possible. C'est à cette disposition que M. Bell semble avoir donné la préférence, elle constitue un récepteur très sensible pour le transmetteur à miroir.

Lorsqu'on parle dans ce transmetteur, le miroir vibrant se bombe ou se creuse, et ainsi dilate ou contracte le faisceau lumineux. Il jette, de la sorte, plus ou moins de clarté sur le sélénium et, par suite, impressionne plus ou moins vivement sa conductibilité électrique. Ces variations s'effectuent bien en concordance parfaite avec les ondes de la voix parlée, puisque c'est identiquement celle-ci que l'on entend dans le téléphone récepteur.

En projetant ce faisceau réfléchi sur un écran, on voit l'image qu'il y produit se modifier dans sa forme et dans son éclat à chaque émission différente de son ou de parole. Ces transformations pour les voyelles ne sont pas sans analogie avec les images à contours variés que M. Adrien Guebhard a obtenues récemment à l'aide de son procédé phonéidoscopique. L'idée de ces expériences est empruntée au principe de la formation des anneaux d'interférences par la condensation de la vapeur d'eau à la surface fraîchement nettoyée du mercure. En prononçant plusieurs voyelles à une distance assez faible pour que le souffle conserve l'état qu'il possède au sortir de la bouche, M. Guebhard a constaté qu'il se produisait sur le mercure des figures caractéristiques correspondantes aux diverses voyelles.

Nous trouvons encore dans le transmetteur de M. Bell un moyen plus facile et plus net de vérifier et d'étudier la formation de ces figures. Je pense qu'en s'aidant du nouveau procédé instantané de photographie au gélatino-bromure, on pourrait fixer ces images des sons et des paroles, et les comparer entre elles chez un même individu ou d'un individu à un autre. Peut-être arriverait-on ainsi à constituer le portrait ou au moins le signalement de la voix.

M. Bell, Messieurs, ne s'est pas borné à multiplier dans le même sens les expériences du photophone. Son esprit d'investigation les lui a fait modifier et l'a aussi conduit à des conséquences d'une haute importance scientifique. La principale est qu'on peut même se dispenser du concours de l'électricité et entendre la lumière elle-même sur le corps qu'elle vient frapper. Pour le prouver, M. Bell se sert d'un appareil semblable à son

transmetteur, à cette différence près, que le tuyau dans lequel on parlait se termine par un pavillon. En le portant à l'oreille, on entend résonner la plaque dès qu'elle est touchée par le faisceau lumineux mis en vibration au moyen de la roue perforée. Le bruit est faible, mais on s'en rend compte par contraste au moyen des silences qui se produisent lorsqu'on passe la main devant le faisceau de lumière.

M. Bell a fait cette expérience avec des plaques de différentes substances; il a essayé tous les métaux, l'or, l'argent, le cuivre, puis le bois, l'ivoire, le caoutchouc, et chaque fois il a entendu le bruit provenant de la lumière scintillante qui tombait sur la plaque. Tous les corps sont donc susceptibles de résonner sous l'action d'un rayon lumineux vibratoire. C'est là, en quelque sorte, la révélation d'une nouvelle propriété de la matière, ou mieux une nouvelle confirmation de cette grande conception scientifique moderne, à savoir que : chaleur, lumière, électricité, sont les manifestations d'une même force de la nature qui est le mouvement.

Maintenant, quel est l'avenir réservé au photophone? Entrera-t-il bientôt dans une voie pratique, arrivera-t-il à détrôner le téléphone? On peut en douter, parce qu'il est bien incommode d'établir des communications de lumière à des distances qui soient compatibles avec l'efficacité de l'appareil. Ce serait d'ailleurs revenir aux difficultés des anciens télégraphes de Chappe.

Cependant, en temps de guerre, le photophone pourra rendre des services, car, bien souvent, les télégraphistes militaires seront empêchés d'établir une ligne électrique. On me parle de la télégraphie à signaux optiques. Mais sur ce système, le photophone aura l'avantage de ne pas nécessiter l'emploi d'une clef alphabétique, dont l'ignorance ou l'oubli chez un officier chargé d'un ordre important pourrait compromettre le gain de la bataille.

D'ailleurs, lorsqu'une découverte scientifique vient de se produire, ne doit-on pas l'accueillir avec reconnaissance envers son auteur, avant même de se demander si elle est d'une utilité immédiate. Le côté pratique viendra à son heure, car un secret arraché à la nature par l'homme ne peut rester stérile. Quand Galvani fit sa célèbre expérience sur la grenouille écorchée, se doutait-on que c'était là le point de départ de l'électricité dynamique, cette branche importante de la physique, dont la seconde partie de notre siècle voit éclore les magnifiques applications? Dans la découverte de ce phénomène abstrait de la polarisation de la lumière, qui aurait vu tout d'abord un moyen d'évaluer la richesse du sucre avec l'instrument inventé depuis sous le nom de saccharimètre?

Cependant, le photophone permet d'entrevoir des choses plus étonnantes encore. Dans ces derniers temps, M. Bell avait été visiter l'Observatoire de Meudon et causait avec son directeur, M. Janssen, dont vous connaissez les beaux travaux sur la constitution de la sphère solaire. Au cours de leur entretien, il lui vint l'idée de se servir du photophone pour entendre les mouvements qui sont la cause des taches mobiles observées à

la surface du soleil. De là, il n'y a pas loin à émettre la pensée qu'on pourra percevoir les bruits qui se produisent dans les astres.

Si donc, on peut dire que les progrès de l'optique nous permettront un jour de voir les choses et les êtres qui sont là-haut, est-il téméraire d'espérer qu'un jour les habitants de la terre pourront, grâce au photophone, correspondre et parler avec leurs frères des planètes!

M. le Président, après la remarquable communication qui vient d'être faite, d'une façon magistrale, par M. Armengaud, fait observer que son premier devoir est de remercier notre Collègue pour la complaisance qu'il a mise, non seulement à faire sa conférence, mais, d'accord avec M. Graham Bell, à s'entendre avec M. Bréguet qui lui a fourni les instruments nécessaires à la démonstration.

M. Bréguet et les personnes qui ont apporté leur concours à cette séance, ont d'abord droit à ces remerciements.

M. le Président fait remarquer qu'il avait raison de dire au commencement de cette communication que la nouvelle invention de M. Graham Bell, tient du merveilleux, sa découverte a ouvert un champ nouveau à la science, et ce champ est si vaste qu'il peut n'être pas limité à notre planète.

Qui oserait affirmer, en effet, qu'un son ayant pris naissance dans les régions stellaires, ne puisse un jour parvenir jusqu'à la terre et qu'avec le poète nous puissions nous écrier alors que la lumière est la véritable voix des étoiles.

L'ordre du jour appelle la communication de M. Herscher sur le chauffage et la ventilation des monuments de Vienne [1].

MM. Herscher et Demimuid voudraient terminer leur communication par quelques mots succincts sur la visite comparative qu'ils ont faite à Vienne, à Pesth, à Gratz et à Munich de plusieurs établissements spécialement consacrés à l'étude de la chimie.

Partout des laboratoires bien disposés, vastes, clairs et pourvus d'eau ainsi que de gaz à toutes les places, et même de vapeur en certains endroits. Partout des machines à vapeur commandant des générateurs d'électricité. Partout aussi, la vapeur employée comme mode de chauffage; et pour un certain nombre de salles au moins, des surfaces de chauffe établies dans les locaux.

Mais, la ventilation, particulièrement, a été l'objet de grands soins.

A ce dernier point de vue, il résulterait de la comparaison entre les quatre établissements que pour les grands laboratoires, la ventilation mécanique et par appel est ce qui convient le mieux; et que pour les amphithéâtres, c'est au contraire, l'insufflation mécanique près des individus, avec évacuation par le haut, qui serait préférable.

1. Voir la note de M. Herscher, page 471.

En résumé, le voyage des délégués de la Société auprès du Congrès des ingénieurs et architectes d'Autriche, a permis de constater bien des efforts heureux qui méritaient d'être mis en lumière; et MM. Demimuid et Herscher espèrent que les quelques indications qu'ils ont données dans ce but seront accueillies avec intérêt par leurs Collègues.

M. Quéruel n'est nullement surpris des résultats du système du docteur Böhm dont la description très intéressante vient d'être faite par M. Herscher; il connaît ces résultats depuis l'origine.

Il rappelle qu'il a esquissé en quelques mots, dans la séance du 6 septembre 1872, le dispositif et le fonctionnement de ce système de chauffage et de ventilation. Il espérait alors que cet exemple serait mis à profit à l'Opéra de Paris, comme il l'a été aux théâtres de Genève et de Bruxelles.

M. Quéruel fait remarquer qu'un intervalle de huit années existe entre l'inauguration des deux théâtres de Vienne et de Paris, et qu'on ne peut objecter que le temps et l'argent aient manqué pour l'application de cet excellent système.

Il fallait un chauffage intermittent, c'était le calorifère à vapeur qui convenait; mais on a introduit le calorifère à eau chaude, plus propre aux chauffages continus, combiné avec le calorifère à air surchauffé, qui produit une altération de l'air; il en résulte une ventilation insuffisante qui ne donne pas à l'Opéra les conditions de bien-être et de salubrité qu'on serait en droit de désirer.

M. Émile Trélat croit qu'il est possible de fournir une explication à la lacune qui vient d'être signalée par M. Quéruel. Mais on ne saurait la produire avec convenance, qu'à la condition de dégager les personnes, et de se placer assez haut dans les appréciations pour n'atteindre d'aucun blâme ceux dont les efforts et le savoir nous ont valu l'expérience qui nous permet de mieux comprendre aujourd'hui des installations fort délicates.

Il y a dix ans, nous vivions, en France, sur cette idée absolue, que, pour placer sainement dans des locaux fermés, des personnes réunies en grand nombre, pendant l'hiver, il suffisait de les baigner dans de l'air chauffé; et tout le monde savant admettait que, pourvu que cet air circulât en proportion de la quantité des consommateurs, la solution était faite.

L'air était chauffé par des enveloppes de foyer, d'eau chaude, ou de vapeur, peu importe, c'était toujours sur les calories transportées par de l'air et sur cet air même que l'on comptait pour faire la température des vaisseaux occupés et pour les aérer.

On ne distinguait pas les deux fonctions, ou plutôt, on les confondait dans une même opération : *trajet de l'air chauffant et ventilant à travers les personnes*. C'était la solution scientifique, et les gens d'expérience ne connaissaient que cela. Je me rappelle qu'à l'époque du concours ouvert pour le chauffage du nouvel Opéra de Paris — ce devait être en 1864 — mon camarade d'Hamelincourt venait me consulter sur les études qu'il préparait. Je lui disais : « chauffez votre air comme vous voudrez, cela importe

peu ici ; mais épanouissez-le derrière la muraille circulaire de la salle, de manière à la bien chauffer et à en faire le régulateur de la température du local occupé. Vous vous arrangerez ensuite facilement pour ventiler avec de l'air à douce température. »

Je crois qu'il acceptait mon conseil en principe ; mais il trouvait la réalisation compliquée, coûteuse, et, surtout, il craignait de perdre ses chances de succès en la présentant au concours. Il fit le projet qui a été exécuté.

Mais, je reviens, Messieurs, à l'image que vous avez sous les yeux. Elle me permettra de mieux développer l'idée que j'indique et de la consacrer. Ce qu'il y a d'intéressant et d'original à l'Opéra de Vienne, vous le voyez admirablement dans cette coupe, c'est que tout ce qui est habité est entouré d'une doublure constamment entretenue, par des moyens puissants, à une température convenable. Ces couloirs, qui se superposent et qui sont toujours à une température convenable, constituent une excellente protection pour la salle. C'en est comme le paletot, paletot échauffé l'hiver, rafraîchi l'été par l'air à température variée qu'on y amène. Et puis, ce qui est très correct, c'est que dans la salle, on n'introduit pas de l'air chauffant ; c'est qu'on y introduit de l'air approprié à la respiration, de l'air à 17 degrés. Il faut le remarquer, Messieurs, c'est là ce qui caractérise excellemment la solution viennoise. On respire bien dans la salle. Et on respire parce que les poumons y consomment de l'air à une température inférieure à la moitié de celle du corps. C'est là la solution du bien-être et de la salubrité partout. Quand on l'obtient dans un lieu qui contient un grand nombre de personnes à la fois, on a vaincu de grandes difficultés.

C'est ce qu'on constate ici. Moi aussi, je suis allé à Vienne. J'y suis allé en juillet ; il faisait une chaleur accablante, et je n'ai trouvé un peu de repos qu'à l'Opéra. C'est là, vraiment, que je me suis rafraîchi.

Mais, je le répète, ces beaux résultats sont la suite directe de la *séparation des deux opérations du chauffage et de l'aérage* — la ceinture des couloirs étant pourvue de ressources caloriféiques suffisantes pour maintenir la salle à une température convenable — l'air d'alimentation pénétrant librement dans la salle au degré le mieux approprié à la respiration. J'ajoute que les résultats sont efficaces et certains, parce que les moyens mis en œuvre sont très puissants.

Ce qu'on doit conclure de tout cela, c'est que la solution du théâtre de Vienne est la solution vraie. Nous devons la regarder comme un modèle.

On dit, je le sais, qu'on y a dépensé des sommes folles. Mais, Messieurs, voilà dix ans que cette critique prompte et légère attarde et ruine toute discussion efficace sur ce grave sujet. Pour ma part, je m'y heurte sans cesse. Il faudrait, pourtant, qu'on reconnût ceci : c'est qu'on ne met pas un grand nombre de personnes coude à coude dans un espace fermé pendant plusieurs heures, sans constituer un milieu abominablement insalubre, où les produits miasmatiques, résultant des expirations et des transpirations,

s'échangent en tous sens. Pour reconstituer la salubrité dans un pareil lieu il faut recourir à des opérations énergiques, qui se paient. Si on veut être bien portant au théâtre, il faut payer la salubrité de l'air qu'on y respire, car elle ne peut y exister qu'*artificiellement*. Si l'on allait au fond des choses, on verrait, d'ailleurs, qu'il s'agit à peine ici de quelques centimes par place.

M. Coüard désirerait connaître le rapport de la somme des sections des conduits de chaleur au cube total de la salle de l'Opéra de Vienne. Il rappelle que, dans la séance du 4 juin dernier, il a cité des expériences, dont la conclusion était l'augmentation des conduits de chaleur; il pensait qu'il fallait leur donner des sections quadruples au moins de celles qu'on donne ordinairement, afin d'envoyer une grande quantité d'air chauffé à une température modérée, condition nécessaire, à son avis, pour avoir un chauffage économique et sain. L'expérience du théâtre de Vienne semble confirmer ces conclusions; il serait donc utile de connaître le rapport des sections d'arrivée de l'air chaud, au cube total de la capacité chauffée.

M. Coüard croit se rappeler que M. Herscher aurait dit qu'à la Bourse de Bruxelles, il avait quadruplé les sections primitivement prévues pour les conduits, et qu'il s'en était bien trouvé.

M. Herscher répond qu'il tâchera de se procurer les chiffres demandés par M. Coüard; il ajoute qu'il est toujours bon de donner des dimensions considérables aux conduits d'arrivée de l'air chaud dans les salles, pour que la vitesse de l'air soit faible et ne gêne pas les personnes qui se trouvent dans le voisinage des bouches de chaleur.

La discussion étant épuisée, M. le Président remercie MM. Herscher et Demimuid de leur intéressante communication sur le chauffage et la ventilation des monuments et particulièrement de l'Opéra de Vienne.

Cette communication et la discussion qui l'a suivie terminent très bien l'étude faite cette année des questions de ventilation et de chauffage.

MM. Bonpain, Buquet, Cluysenaer, Lommel, Turettini, Vrolik ont été reçus membres sociétaires, et M. Delessert, membre associé.

CHRONIQUE

SOMMAIRE. — Appareils hydrauliques pour la manœuvre des ponts mobiles. — Relèvement d'un vapeur coulé dans le lac de Bienne. — Accidents de chemins de fer en France et en Angleterre. — Prescriptions de l'Union des chemins de fer allemands pour la fabrication des rails d'acier. — Le gaz à Londres. — Les grands steamers anglais.

Appareils hydrauliques pour la manœuvre des ponts mobiles. — Le numéro du quatrième trimestre de 1879 du *Bulletin de la Société scientifique industrielle de Marseille*, contient un mémoire très important de notre collègue M. Barret, ingénieur des docks de Marseille, sur la manœuvre hydraulique des ponts mobiles. Une partie des renseignements contenus dans ce mémoire a, dit l'auteur, été insérée dans les *Annales des Ponts et chaussées* de mai 1875, mais une autre partie est formée des observations présentées par M. Barret, dans la discussion qui a eu lieu à l'Institut des Ingénieurs civils à Londres, en mars 1879, au sujet d'une communication de M. Price sur les ponts mobiles. Il nous paraît donc intéressant de résumer ce mémoire, qui est très considérable et accompagné de nombreux dessins.

Autrefois les cours d'eau naturels ou artificiels, tels que rivières, canaux, passes, etc., n'étaient franchis que par des ponts mobiles de dimensions restreintes et destinés à livrer passage à des charges modérées, ces ponts étaient ou à bascule ou tournants, ou roulants. Actuellement la largeur des passes à franchir a plus que doublé et les charges sont devenues bien plus considérables, puisque certains de ces ponts doivent livrer passage à des locomotives. Il en est qui atteignent les poids de 600, 800 et 1,000 tonnes.

Il faut donc faire usage de moyens mécaniques pour pouvoir remuer facilement ces grandes masses et abréger la durée des opérations.

Les divers systèmes de ponts mobiles employés jusqu'à ce jour, sont :

1° Les ponts flottants;
2° Les ponts roulants;
3° Les ponts tournants;
4° Les ponts à bascule.

1° Les ponts flottants sont supportés par des caissons, la manœuvre s'opère en faisant pivoter le tablier sur le flotteur qui sert alors de pile centrale, ou en déplaçant latéralement ce flotteur d'une quantité suffisante pour dégager complètement la passe.

Ces ponts ont peu de stabilité et leur manœuvre est peu commode, aussi ne les emploie-t-on que rarement et dans les cas où il y a impossibilité à établir des piles.

2° Les ponts roulants sont à culasse ou sans culasse. Dans le premier cas la culasse est armée de galets roulant sur des rails, et est lestée suffisamment pour que le pont reste toujours en équilibre. On emploie divers systèmes pour simplifier la construction et la manœuvre, systèmes décrits avec dessins dans le mémoire de M. Barret.

Les ponts sans culasse sont portés au moyen de galets sur des poutres à bascule, qui se relèvent verticalement sur un des côtés de la passe lorsqu'il s'agit de démasquer celle-ci et que le pont proprement dit est roulé en dehors. C'est une sorte de combinaison du pont roulant et du pont à bascule; ce système ne peut guère s'appliquer qu'à des passes de 8 à 10 mètres.

3° Les ponts tournants en usage sont de divers types; les uns s'appuyent par leur centre de gravité, sur une plaque tournante à galets et par leur extrémité, sur des excentriques de calage; d'autres reposent sur un pivot hydraulique, c'est-à-dire un flotteur plongé dans l'eau, disposition proposée il y a bien longtemps déjà pour les plaques tournantes de chemins de fer; enfin un dernier système consiste à établir le pont sur la tête d'un plongeur de presse hydraulique, laquelle presse sert elle-même à soulever le pont pour en dégager les deux extrémités.

Les ponts tournants sont les seuls applicables aux passes de grande largeur, mais ils présentent l'inconvénient de nécessiter aux abords des passes une étendue plus grande pour effectuer leur rotation. Il est à recommander d'employer pour la manœuvre des systèmes funiculaires à chaînes qui ont de l'élasticité et subissent les effets de réaction des puissances vives sans se rompre comme les engrenages, crémaillères, etc.

4° Les ponts à bascule reposent généralement non sur des pivots, mais sur des quarts de cercle, ce qui fait que pendant le basculement, il se produit un mouvement de translation horizontale qui permet de réduire la longueur de la culasse formant contrepoids; ces ponts ne sont applicables que sur des passes étroites, à cause de la profondeur qu'il faut donner à l'encuvement où descend la culasse pendant le relèvement.

La force motrice la plus employée pour la manœuvre des ponts mobiles est l'eau sous pression. Les premières applications en ont été faites en Angleterre.

M. Barret décrit le pont de Leith, établi en 1874 sur une passe de 36^{m},84; le poids total du pont, y compris un lest de 240 tonnes, est de 620 tonnes. Le pont est supporté, pendant la manœuvre, par un plongeur hydraulique de 1^{m},65 de diamètre, la pression de l'eau atteint 47 kilog. par centimètre carré; la tête du plongeur est à rotule pour permettre à la volée de basculer légèrement afin de se dégager.

La rotation peut se faire dans les deux sens, au moyen de cylindres hydrauliques agissant par des chaînes; deux presses hydrauliques permettent

le calage à bras de la culasse et deux autres servent à relever les galets de roulement.

Le pont tournant des bassins de radoub de Marseille, établi en 1871 par M. Barret, dessert une passe de 28 mètres, il pèse 700 tonnes. Sa longueur totale est de 62 mètres et la largeur de 16 mètres. Il y a trois fermes.

Les appareils de manœuvre se composent d'une presse centrale de 0m,580 de diamètre, ce qui oblige de porter la pression de l'eau à 270 atmosphères, de deux cylindres de rotation agissant par des chaînes sur les gorges d'une couronne de 14 mètres de diamètre, et d'un appareil hydraulique pour commander les coins de calage de la culasse.

Comme on ne dispose que d'une pression de régime de 50 atmosphères environ, il a fallu, pour la presse centrale, recourir à l'emploi d'un multiplicateur. On avait voulu faire le corps de presse en fer forgé, c'est ce qui avait conduit à l'adoption d'un faible diamètre. Il est préférable, comme on le verra plus loin, de donner un fort diamètre à la presse centrale.

M. Barret examine les améliorations à apporter aux mécanismes de manœuvre hydraulique des ponts.

Les conditions à remplir sont :

1° Le mécanisme doit être assez puissant pour permettre la manœuvre par tous les temps.

2° Le pont au repos doit reposer sur des appuis fixes comme les ponts ordinaires et jamais sur les organes des appareils de manœuvre.

3° Le pivot de support hydraulique doit avoir un diamètre assez fort pour assurer la stabilité du pont pendant la manœuvre sans le secours d'aucun engin complémentaire.

4° Le pont doit être guidé sur le pivot de manière que celui-ci n'ait à supporter que des actions verticales.

5° Le soulèvement du pont doit s'effectuer parallèlement à lui-même, afin d'avoir parfaitement planes les surfaces d'appui entre le pivot et les sommiers.

L'auteur décrit l'application de ces principes à un pont tournant à culasse portant deux voies de chemin de fer, et couvrant une passe de 30 mètres. Une des parties les plus intéressantes est le récupérateur, destiné à éviter la perte de travail qui se produirait, si on faisait agir l'eau directement dans la presse centrale ou pivot hydraulique; l'eau qui y est contenue est, à la descente, refoulée sous l'action du poids de l'ensemble du pont dans ce récupérateur; on n'a à fournir à nouveau que ce qui correspond aux frottements et résistances passives. Cet appareil est fort ingénieusement disposé.

Il se compose d'un cylindre avec un piston portant une caisse de charge dont le poids est calculé de manière que le pont, à sa descente, soit encore capable de ramener le piston au haut de sa course.

Pour soulever le tablier, il faut augmenter la charge, ce qu'on obtient en faisant agir l'eau sous pression, au-dessus du piston du récupérateur.

La dépense d'eau sous pression pour une élévation de 0m,10 du tablier,

est de 19 litres, tandis que, si on faisait agir cette eau directement dans la presse centrale, la dépense serait de 154 litres.

L'emploi du récupérateur produit donc une économie de 87 pour 100.

La dépense d'eau pour la manœuvre du pont, ouverture ou fermeture, est :

1° Par beau temps, la force du vent ne dépassant pas une pression de 10 kilogr. par mètre carré. . . . . 54 litres.

2° Par un fort vent. . . . . 197 »

Les appareils de rotation sont formés de deux cylindres de 1,600 de course, les pistons ayant $0^{m},400$ de diamètre et leurs tiges $0^{m},210$.

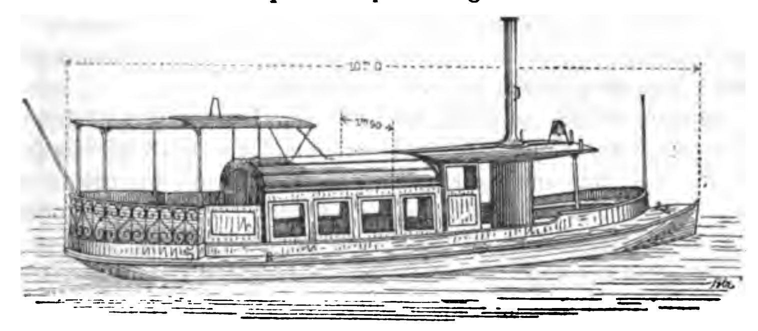
Nous devons renvoyer au mémoire pour la description et les calculs des différentes parties de ces appareils étudiés de la façon la plus remarquable.

Relèvement d'un vapeur coulé dans le lac de Bienne. — Le numéro du 16 octobre de l'*Eisenbahn* donne la description des moyens employés pour relever un petit vapeur coulé dans le lac de Bienne; bien que l'épave fût d'un faible échantillon, les procédés employés sont assez remarquables, pour que nous croyions intéressant de donner un résumé de cette description en l'accompagnant de deux dessins, dont nous devons la communication à l'obligeance de la rédaction de l'*Eisenbahn*.

Le 25 juillet 1880, dans la soirée, le petit vapeur à hélice *Neptune*[1], revenant d'une excursion sur le lac de Bienne, avec 17 personnes à bord, fut assailli à 4 kilomètres environ de Bienne, par un coup de vent terrible et englouti presque immédiatement sous les flots; deux passagers seulement échappèrent à la mort; ils étaient sur le pont au moment de la catastrophe, et l'un d'eux, jeté par-dessus le bord par le vent et les vagues, put entendre le suprême cri de désespoir poussé par les victimes au moment où le bateau s'abîmait sous l'eau.

Dès que l'accident fut connu, un Comité se forma à Bienne, pour entreprendre de relever le bateau et de retrouver les cadavres enfermés dans la cabine.

Le dessin ci-dessous indique la disposition générale du bateau.



La première chose à faire était de reconnaître exactement l'endroit où il

1. Ce petit bateau de 10 mètres de longueur et de $1^{m},80$ de large, après avoir navigué sur le lac des Quatre-Cantons, avait été transporté récemment sur le lac de Bienne où on le louait pour des promenades.

se trouvait. On avait peu de données à cet égard; cependant des gens de Weingreis, petit village de la rive gauche du lac, entre Twann et Tüscherz, qui avaient vu de loin la catastrophe, dirent qu'à ce moment le bateau se trouvait entre Weingreis et Lattrigen, endroit situé sur la rive droite.

D'autre part, quelques jours après, un cadavre remonta à la surface non loin de Tüscherz, à une place où la profondeur du lac est de 75 mètres. On supposa que le bateau, après avoir disparu sous l'eau, avait encore pu avancer sous l'impulsion de son hélice, tant que la vapeur de la chaudière n'avait pas été complètement condensée par l'eau froide, et atteindre le fond en marchant. Cette supposition au premier abord un peu hardie a été confirmée par ce fait, que l'hélice a été trouvée privée de ses quatre ailes brisées au ras du moyeu.

On pensa tout d'abord à employer des plongeurs. Le Comité s'adressa par l'intermédiaire du Conseil fédéral aux ministères de la marine d'Autriche, d'Angleterre, de France et de Prusse.

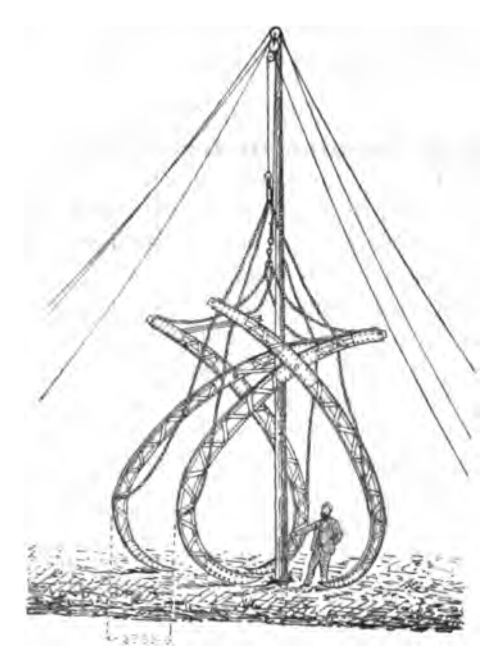
La réponse fut qu'on ne descendait pas habituellement à plus de 45 mètres, et que ce n'était qu'exceptionnellement qu'on avait atteint 75 mètres. La dépense du relèvement fut estimée à Paris à 10,000 francs. Si on tient compte de ce que le niveau moyen du lac de Bienne est à 434 mètres au-dessus du niveau de la mer, on voit que la profondeur à laquelle se trouvait le *Neptune* dépasse la plus grande profondeur à laquelle on ait pu encore arriver avec les appareils de plongeur. On dut donc renoncer à ce moyen.

Pendant que ces pourparlers avaient lieu, on s'occupait de déterminer l'emplacement exact de l'épave. Dès le lendemain de la catastrophe, les gens des communes riveraines s'étaient mis à l'œuvre. On s'attacha à explorer la surface triangulaire, ayant pour sommets Tüscherz, Weingreis et Lattrigen. L'exploration avait lieu au moyen d'un câble tendu au-dessus de l'eau, entre deux barques écartées de 40 à 60 mètres l'une de l'autre; à ce câble étaient attachées des cordes terminées par des ancres ou même des pierres; les barques traînaient le tout en draguant le fond. On arriva ainsi à constater la présence d'un corps résistant qu'on supposa être le bateau naufragé. L'endroit fut marqué au moyen d'un bidon à pétrole attaché à la corde qui avait accroché l'obstacle.

Il s'agissait maintenant de relever le bateau. Les projets ne manquaient pas. Les uns proposaient d'employer un tuyau à gaz de 75 mètres de longueur, terminé par une tarière, de percer le pont du bateau et de soulever celui-ci en refoulant de l'air, d'autres voulaient accrocher le bateau avec quatre ancres et le tirer hors de l'eau, un troisième pensait qu'on réussirait à amener l'épave à terre au moyen d'un grand râteau en fer, auquel on attellerait un remorqueur.

Le Comité écarta toutes ces propositions et se rangea à l'idée de M. Favre, notaire à Neuveville, qui proposait d'employer des tenailles dans le genre de celles dont on se sert pour prendre les pierres de taille dans les carrières et sur les chantiers. On fit d'abord un modèle, qui fonc-

tionna parfaitement, puis l'appareil fut exécuté dans les ateliers de MM. Chapuis et Cie, à Nidau, sous la direction de M. Wolf, ingénieur de l'établissement.



Le dessin indique la disposition de cette double tenaille, dont le poids était de 1,450 kilogrammes; des cordes tenaient les branches inférieures ouvertes, tandis que d'autres attachées aux parties supérieures s'enroulaient sur les tambours de treuils placés sur deux barques reliées ensemble.

Le 25 août au soir, un mois jour pour jour après le sinistre, les tenailles saisirent l'épave, et l'opération du relèvement commença et se continua sans interruption, jusqu'à ce qu'à 11 heures du soir on vit la cheminée du bateau sortir de l'eau, puis la coque elle-même apparaître. Par un heureux hasard, les tenailles avait saisi le bateau dans les conditions les plus favorables qu'on eût pu désirer.

Le lendemain matin, les 600 mètres de distance, qui séparaient le lieu de la catastrophe du bord, étaient franchis et le *Neptune* était échoué sur la rive Nord-Ouest du lac.

Le bateau avait très peu souffert; les vitres de la cabine étaient presque toutes brisées; les cadavres étaient pour la plupart assis sur les banquettes; un était couché sur le plancher, un autre debout contre la porte avait la tête et les bras passés dans le vitrage à demi brisé; quatre victimes n'ont pas été retrouvées. La position normale de tous les objets restés à bord semble indiquer que le bateau a été englouti subitement pendant sa marche et a continué celle-ci jusqu'au fond du lac.

La dépense totale de la recherche et du relèvement, y compris la construc-

tion des tenailles, a été de 3,000 francs environ, soit moins du tiers de la somme à laquelle cette dépense avait été évaluée d'abord. Il y a, croyons-nous, dans ce modeste sauvetage opéré dans des conditions remarquables de rapidité et d'économie, une intéressante et judicieuse application de moyens mécaniques et un exemple frappant de ce que peut faire l'initiative privée.

Les accidents de chemins de fer en France et en Angleterre. — En 1879, il y a eu, dans le Royaume-Uni de la Grande-Bretagne et de l'Irlande, 1 voyageur tué sur 3,517,000, et 1 blessé sur 430,000, tandis qu'en France, il y a eu 1 tué sur 7,000,000, et 1 blessé sur 350,000, ceci sans distinction de causes.

Si on écarte les accidents imputables à la faute ou à l'imprudence des voyageurs, on trouve pour 1879 en France, 1 tué sur 27,800,000, c'est à peu près la proportion de 1878, pour l'Angleterre, 1 sur 23,540,000; mais en 1879, la chute du pont de la Tay a fait descendre la proportion à 1 sur 7,503,000.

Il ne faut pas oublier, lorsqu'on fait ces comparaisons, que les chemins de fer français ne transportent que 139 millions de voyageurs de toutes classes, contre 562 millions pour les chemins de fer anglais; mais par contre en France, le nombre de voyageurs par kilomètre est plus grand et les trains sont plus remplis, la proportion étant seulement environ de 2 1/2 places offertes par voyageur, cette circonstance a une influence sur la gravité des conséquences des accidents. Si les chemins de fer anglais pouvaient arriver à la même utilisation des trains, leurs revenus s'en ressentiraient avantageusement; mais les voyageurs y perdraient considérablement en confortable. (*Iron*).

Prescription de l'Union des Chemins de fer allemands pour la fabrication des rails d'acier.— Voici les conditions auxquelles doit satisfaire le métal, d'après les prescriptions de l'Union des chemins de fer allemands, pour la fabrication des rails d'acier.

L'indice de qualité mesuré par la somme de la résistance absolue en kilogrammes par millimètre carré, et de la contraction pour cent de la section primitive, doit être égal à 80, sans que la résistance à la rupture descende jamais au-dessous de 50 kilogrammes et la contraction au-dessous de 20 pour 100.

L'épreuve du métal à la traction a lieu sur des éprouvettes prises dans les têtes des rails et ayant 240 millimètres de longueur et 20 à 25 de diamètre.

Les rails doivent subir dans les ateliers des fournisseurs les épreuves suivantes :

1° Le rail posé sur deux appuis, distants d'un mètre, doit supporter, au milieu, une charge de 20 tonnes pendant plusieurs heures sans conserver après de flèche permanente;

2° Le rail doit pouvoir être courbé à froid d'un côté ou de l'autre avec une flèche de 50 millimètres sans qu'il se manifeste de criques ou de fissures;

3° Le rail posé sur deux appuis, distants de 1 mètre, doit supporter, sans se rompre, deux coups d'un mouton de 500 kilogrammes tombant de 4 mètres, et sans aucun dommage, la chute de 2m,50;

4° Le rail doit pouvoir subir une courbure de 22,5 millimètres de flèche sur 3 mètres de longueur.

Les Russes vont encore plus loin et, pour apprécier comment les rails résistent au choc par les temps froids, ils font subir l'épreuve par le choc à des rails refroidis dans des mélanges réfrigérants[1].

(*Zeitschrift des Vereines deutschen Ingenieure*).

Le gaz à Londres. — Il y a, à Londres, six Compagnies gazières dont voici les noms par ordre d'importance : *Chartered*, *Phœnix*, *Commercial*, *London*, *South-Metropolitan* et *Surrey*. En 1869 il y avait treize compagnies. Le capital total de ces six compagnies était, à la fin de 1878, de 300 millions de francs, et le produit de la vente du gaz de 70 millions. Le prix du gaz est descendu de 1869 à 1878 de 18 à 15 centimes par mètre cube en nombre rond, et on peut s'attendre à le voir baisser encore en présence de la menace de concurrence de la lumière électrique.

En 1869, la consommation du gaz à Londres était de 85 mètres cubes par habitant; en 1878, elle s'est élevée à 127 mètres cubes, soit un total de 461 millions de mètres cubes.

En 1869, la quantité de charbon consommée était de 1,171,588 tonnes, dont 12 pour 100 de cannel-coal; en 1878, 1,715,472 tonnes, dont seulement 6 pour 100 de cannel; en 1869, chaque tonne de charbon fournissait 235 mètres cubes de gaz vendu, tandis qu'en 1878 la tonne donnait 265 mètres cubes. Cet accroissement est dû tant aux soins apportés à la fabrication qu'au contrôle plus efficace de la distribution.

Les usines distillent par jour 4,700 tonnes de combustible; la vente de 73 pour 100 non brûlés du coke et des autres produits représente 56 pour 100 du prix du charbon.

La plus importante compagnie, la *Chartered*, distille 1,408,600 tonnes par an et vend 294 millions de mètres cubes de gaz, elle fournit les deux tiers de la consommation de la métropole. (*Engineer*).

Les grands steamers anglais. — Nous avons, dans la Chronique du mois de septembre 1880, donné, d'après une communication faite à l'Institution of Mechanical Engineers, quelques détails sur le steamer *City of Rome* en construction à Barrow pour le compte de la compagnie Inman.

1. Chronique de mai 1880, page 640.

Nous croyons intéressant de donner ici le tableau des dimensions des quatre plus grands vapeurs de commerce anglais.

DÉSIGNATION.	BRITANNIC.	ARIZONA.	SERVIA.	CITY OF ROME.
	m.	m.	m.	m.
Longueur à la flottaison...	138.68	137.16	160	166.42
Largeur au pont.........	13.72	13.84	15.85	15.85
Creux................	10.24	10.87	12.42	11.28
Puissance indiquée.......	4.700	6.600	8.700	8.700
Nombre des cylindres à haute pression........	2	1	1	3
Diamètre des cylindres à haute pression........	1.220	1.525	1.830	1.090
Nombre des cylindres à basse pression.........	2	2	2	3
Diamètre des cylindres à basse pression.........	2.110	2.290	2.540	2.185
Course commune des pistons.	1.524	1.676	1.980	1.676

Les dimensions de ces navires tendent à se rapprocher de celles du *Great-Eastern*, sans y atteindre toutefois encore à beaucoup près. Il n'est peut-être pas inutile de rappeler les dimensions de ce colosse un peu oublié aujourd'hui.

Longueur à la flottaison, 207 mètres; largeur, 25 mètres, creux, 17,70. Les machines à roues ont 4 cylindres oscillants inclinés de $1^{m},887$ de diamètre et $4^{m},270$ de course; elles sont alimentées de vapeur par 4 chaudières ayant ensemble 40 foyers, 76 mètres carrés de surface de grille et 1640 de surface de chauffe. A la pression de $1^{kg},75$ avec 11 tours par minute, la puissance indiquée est de 3,300 chevaux.

Les machines à hélice ont 4 cylindres horizontaux de $2^{m},140$ de diamètre et $1^{m},220$ de course; les chaudières au nombre de 6 ont 72 foyers, 120 mètres carrés de surface de grille et 2,500 de surface de chauffe, la puissance indiquée avec 44 tours d'hélice est de 4,700 chevaux; la puissance totale est donc de 8,000 chevaux.

Ces machines brûlent environ 300 tonnes de combustible par jour, soit en moyenne $1^{kg},55$ par cheval indiqué et par heure, tandis que les machines des paquebots dont nous avons donné les dimensions ci-dessus ne brûlent guère en service courant que $0^{kg},850$, ce qui, pour la même puissance de 8,000 chevaux, ne fait que 160 tonnes par jour, soit les 53 centièmes seulement de la consommation journalière du *Great-Eastern;* de plus ces navires réalisent une vitesse supérieure qui amène une diminution de la longueur du voyage et par suite de la consommation totale qui se trouve réduite à peu près au tiers, laissant disponible pour le fret payant les deux autres tiers.

COMPTES RENDUS

SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

SEPTEMBRE 1880.

Rapport de M. SEBERT sur un **appareil avertisseur et enregistreur des variations de niveau d'une rivière éclusée**, construit par M. Henry Lepaute fils. — Cet appareil a été construit pour régler le fonctionnement des écluses qui desservent les terrains wateringués des bords de la rivière de l'Aa dans le département du Nord. Il faut que les écluses, qui établissent ou interceptent la communication des canaux de dérivation avec la rivière, soient, alternativement, ouvertes et fermées aux moments précis qui correspondent à des hauteurs déterminées du niveau de l'eau dans la rivière, hauteurs qui sont elles-mêmes variables, suivant l'heure de la haute et basse mer et qui sont indiquées, chaque jour, par un ordre de service.

L'appareil a pour but d'avertir automatiquement les éclusiers, par une sonnerie, des instants où il faut ouvrir ou fermer les écluses, c'est-à-dire des instants où le niveau de la rivière atteint les limites fixées par l'ordre de service. L'appareil se compose d'un flotteur qui, suivant le mouvement du niveau de la rivière, transmet ce mouvement à un chariot qui se déplace perpendiculairement au sens du mouvement d'un papier mû par un mouvement d'horlogerie muni d'un pendule battant la seconde. Le chariot porte un crayon qui, sous l'action d'un électro-aimant dont le courant est fermé périodiquement par l'horloge, fait, toutes les cinq minutes, une trace sur le papier; les heures ainsi que le midi et le minuit sont marquées d'une manière plus apparente par des traits plus ou moins prolongés. Le papier parcourt 15 millimètres à l'heure, soit 360 en douze heures. La variation du niveau de l'eau est réduite au cinquième sur le chariot; celui-ci se déplace devant une règle graduée où sont fixés des curseurs dont la position est réglée chaque jour par le chef éclusier suivant un ordre de service, cette position correspondant au niveau d'eau où les écluses devront être manœuvrées. On conçoit dès lors que le chariot, atteignant ces curseurs, provoque la fermeture d'un courant électrique qui anime les sonneries d'avertissement.

Il y a d'ailleurs dans l'appareil un grand nombre de dispositions ingé-

nieuses pour laisser une trace permanente de toutes les opérations et qu'il serait trop long de décrire dans un simple résumé.

Rapport de M. Troost sur le **Nickel malléable**, de MM. Gaspard et Belle. Ce nickel est obtenu en fondant le nickel ordinaire et en le mélangeant avec une petite quantité de zinc ou de magnésium, on brasse le mélange et on coule. Cette addition semble avoir pour effet de débarrasser le nickel des traces de matières étrangères empruntées par le métal aux parois du creuset ou à l'atmosphère réductrice qu'il contient. Le nickel obtenu est ductile et malléable, il peut se souder, soit à lui-même, soit au fer et à l'acier. Ainsi on peut souder des feuilles de nickel de 2 à 5 millimètres d'épaisseur sur des plaques d'acier ou de fer de 3 à 5 centimètres d'épaisseur; on les soude au rouge blanc sous un marteau-pilon, et on passe au laminoir; on peut obtenir ainsi des feuilles de 1/10 de millimètre d'épaisseur recouvertes sur chaque surface d'une couche de nickel de 1/100 de millimètre. De même pour les fils. On emploie déjà des creusets de nickel pour fondre la potasse caustique.

Rapport de M. Davanne, sur un **procédé de décoration des glaces argentées**, présenté par M. Leclerc.

Le procédé consiste à superposer à une glace argentée recouverte d'une couche mince de bitume de Judée le sujet qu'on veut reproduire, photographie, gravure ou contre-type fait sur une première glace par le même procédé, et à exposer le tout à la lumière. On lave ensuite la glace à l'essence de térébenthine qui dissout le bitume non insolé; si on plonge ensuite la glace dans l'acide nitrique, l'argent est dissous dans les parties mises à nu. Le dessin apparaît alors en prenant la couleur des divers corps que l'on applique au dos de la glace, on peut également graver la glace au moyen de l'acide fluorhydrique.

Rapport de M. de Luynes, sur l'**Aréomètre thermique, à indications concordantes** pour l'essai des huiles de M. Pinchon.

Cet instrument est l'aréomètre à thermomètre intérieur de Balling avec une graduation spéciale qui permet de s'en servir comme moyen de conditionnement et de comparaison pour se renseigner, à première vue, sur la nature d'une huile et de reconnaître si une livraison d'huile est faite conformément à l'échantillon.

Conférence faite en 1878, au Trocadéro, sur les **travaux publics aux États-Unis d'Amérique**, par M. Malézieux, ingénieur en chef des ponts et chaussées.

Conférence faite en 1878, au Trocadéro, sur les **Moteurs à gaz**, par M. Armengaud jeune.

Sur l'**œuvre conçue et exécutée** par M. Belgrand, pour le service des eaux de Paris, extrait de l'éloge historique de M. Belgrand, par M. Joseph Bertrand, secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences.

ANNALES DES MINES.

1ᵐᵉ livraison de 1880.

Note sur la constitution géologique de l'isthme de Panama, par M. Boutan, ingénieur des mines.

Cette note a pour but de donner le résultat des observations faites par l'auteur pendant le mois de janvier 1880, dans l'isthme de Panama, à l'occasion des travaux de la commission technique internationale que M. de Lesseps avait emmenée avec lui en Amérique pour y étudier sur place les conditions d'exécution du canal interocéanique.

Rapport sur les divers systèmes de signaux en usage et l'application des **appareils d'enclenchement pour la protection des bifurcations,** par M Heurteau, ingénieur des mines.

Ce rapport est le compte rendu des études de la Sous-Commission du Comité de l'exploitation technique des chemins de fer, nommée conformément à la demande de l'Administration supérieure pour étudier la question et permettre au Comité de donner son avis à l'Administration.

Il examine en détail les dispositions adoptées par les différentes compagnies françaises pour l'organisation et la réglementation des signaux de bifurcation, examen d'où il résulte que les règles adoptées pour la protection des trains au passage des bifurcations présente des différences importantes lorsqu'on passe d'un réseau sur l'autre. Nous devons dire ici que M. Heurteau, tout en admettant qu'en théorie il serait désirable de réaliser sur les réseaux français l'uniformité de l'organisation et de la réglementation des signaux, pense que la mise en application d'un règlement uniforme soulèverait de grosses difficultés.

Le rapport passe ensuite à l'étude comparative des appareils d'enclenchement, de leurs propriétés mécaniques et de leur mode d'application, en rappelant que le système d'enclenchement a été appliqué pour la première fois, en France, au chemin de l'Ouest, par M. Vignier, et que ce n'est que plus tard qu'il a été repris par MM. Saxby et Farmer, qui l'ont complété en imaginant un système de transmission par tiges rigides, qui permet de

manœuvrer les aiguilles à grande distance et par suite de concentrer dans un petit espace et sous la main d'un seul aiguilleur, tous les leviers d'aiguilles et de mâts de signaux d'un groupe de voies assez étendu.

L'Administration supérieure avait posé au Comité de l'exploitation technique des chemins de fer les deux questions suivantes :

1° Convient-il de signaler aux compagnies l'opportunité d'uniformiser les systèmes de signaux destinés à protéger les bifurcations?

2° Dans le cas de l'affirmative, quel est le système qu'il y a lieu de recommander aux compagnies comme garantissant le mieux la sécurité publique?

Après avoir entendu la lecture du rappport de M. Heurteau et en avoir délibéré, le Comité de l'exploitation technique des chemins de fer a, dans sa séance du 9 mars 1880, émis l'avis :

1° Qu'il n'était possible, en l'état, de répondre que par la négative à la première question;

2° Qu'on ajoutera un élément très important de sécurité aux bifurcations en y adoptant l'emploi des appareils d'enclenchement;

3° Que, sans désigner spécialement, en ce moment, aucun de ces appareils au choix des compagnies, et en constatant que plusieurs d'entre elles s'empressent déjà d'en étendre l'emploi sur leurs réseaux, il y a lieu d'en recommander instamment l'application à toutes les bifurcations, en attendant qu'on en fasse l'objet d'une prescription formelle.

Notice sur les sources minérales des départements de Seine-et-Oise, de Seine-et-Marne et du Loiret, par M. Sauvage, ingénieur des mines.

Notice sur les mines d'Anthracite de la Mure, par M. Ferrand, ancien élève externe de l'École des mines.

Note sur l'**accident du puits Fontanes des houillères de Rochebelle**, par M. de Castelnau, ingénieur des mines.

Cet accident, arrivé le 28 juillet 1879, a fait trois victimes; il est imputable uniquement à une expansion spontanée, subite et très considérable d'acide carbonique qui se trouvait à une pression élevée dans la couche de charbon et qui a fait irruption dans les chantiers en renversant le front de taille, brisant et lançant au loin la houille qui le renfermait; la quantité d'acide carbonique qui a fait subitement irruption dans les travaux a suffi pour vicier en quelques minutes près de 5,000 mètres cubes d'air.

On peut dire qu'il y a des mines *à acide carbonique* comme il y a des mines *à grisou*.

COMPTES RENDUS MENSUELS DES RÉUNIONS DE LA SOCIÉTÉ DE L'INDUSTRIE MINÉRALE

RÉUNION DE SAINT-ÉTIENNE, 3 JUILLET 1880.

Communication de M. CHAUSSELLE, sur les **Expositions de Düsseldorf et de Bruxelles.**

Communication de M. BRUNET, sur la **Perforation du diamant.** — Le diamant noir coûte actuellement 3 francs le karat, ce qui fait environ 10 fr. pour un diamant de grosseur ordinaire.

La couronne se composant de 6 diamants coûtera 60 francs, le nombre peut d'ailleurs aller jusqu'à 12.

On peut employer un moteur rotatif du système Caverdon, dont le cylindre a 150 millimètres de diamètre; à 5 kilogr. de pression par centimètre carré, pression donnée par de l'air, de la vapeur ou de l'eau, ce moteur faisant 1,800 tours par minute, développe deux chevaux; il pèse 18 kilogrammes. Avec ce moteur on a obtenu les résultats suivants:

Serpentines, quartzites et porphyres..	2	centimètres d'avancement par minute.
Granit........................	5 à 6	—
Pyrite de cuivre.................	8 à 10	—
Calcaire de Belgique............	10	—
Grès houiller...................	5	—
Minerai de fer magnétique.........	5	—

Aux mines de North-Bloomfield, Californie, on a obtenu un avancement de 192 mètres en quarante-six semaines, dans une roche noire quartzeuse extrêmement dure; l'avancement moyen par explosion était de $1^m,22$ et la profondeur moyenne des trous de mine de $1^m,37$. On avait pour environ 6,000 francs de diamants de rechange.

Le mètre d'avancement, la galerie ayant une section de $2^m,10 \times 2^m,10$, a coûté tout compris 659 francs, dont 20 francs de diamant.

Communication de M. CASTEL, sur la **Déphosphoration dans les usines de Westphalie.**

Note de M. SCHWICH, sur le **Cubage des remblais et des déblais dans l'établissement d'une voie de chemin de fer.**

Séance du 4 septembre 1880.

Communication de M. LAUR, sur un **Captage d'eau thermale à l'aide d'un matériel de sondage.**

Fabrication des fils d'acier. — Il est nommé une Commission pour faire des essais sur les fils d'acier pour câbles, que la Société des Forges et Aciéries de Firminy fabrique aujourd'hui couramment.

Note de M. le Dr RIEMBAULT, sur l'**Appareil de transport des blessés dans les mines.**

Séance du 2 octobre 1880.

Communication de M. MEURGEY sur l'**Asphyxie par l'acide carbonique et l'intoxication par l'oxyde de carbone.** — L'auteur décrit les phénomènes physiologiques accompagnant l'asphyxie-intoxication, dont il a été victime en allant visiter comme expert un local à Berard-Saint-Étienne, où, le 29 janvier 1880, plusieurs personnes ont été asphyxiées. Les gaz acide carbonique et oxyde de carbone provenaient d'une étuve à sécher les moules de fonderie, et pénétraient daus une habitation voisine par les fissures du mur mitoyen.

Communication de MM. BRUSTLEIN et DELAY, sur l'**Exposition de Düsseldorf.**

INSTITUTION OF CIVIL ENGINEERS

Séance du 9 avril 1880.

Les moteurs pour petites forces, par M. HENRY SELBY SHAW. — Il est difficile de définir exactement ce qu'on entend par petites forces. La dimension de la machine proprement dite n'a rien à voir là dedans, puisqu'une petite machine à vapeur à fonctionnement très rapide peut développer beaucoup plus de puissance qu'une roue hydraulique de dimensions bien plus considérables; on convient généralement de désigner sous le nom de moteurs pour petites forces, ceux qui ont pour but de remplacer la force musculaire de l'homme, pour ce qu'on pourrait appeler des usages auxiliaires.

Les seules sources de puissance qu'on emploie jusqu'ici sont l'eau sous charge et la combustion, celle-ci comprenant l'action chimique de la pile où le zinc sert de combustible.

On peut donc établir la classification suivante :

Vapeur		Machines thermiques.
Gaz	de houille.	Machines thermiques.
	de pétrole.	Machines thermiques.
Air	chaud.	
	comprimé.	a
Eau	chute naturelle.	
	charge artificielle.	a
Électricité	par action chimique.	
	par action dynamique.	a

Les agents marqués a ne font que transformer ou plutôt distribuer une première puissance motrice, obtenue généralement par la vapeur ou par l'eau.

1° Vapeur.

La question se divise comme toujours en production et utilisation de la vapeur. On emploie le plus souvent des chaudières verticales, avec ou sans tubes Field, l'efficacité de ces chaudières de très petites dimensions a jusqu'ici été assez faible, l'auteur cite des expériences faites sur deux générateurs, ayant l'un 1,95, l'autre 2,50 mètres carrés de surface de chauffe, et où on obtenait 3,3 et 4,9 de vapeur pour 1 de combustible.

L'emploi de la vapeur dans les petits moteurs peut avoir lieu au moyen : 1° de machines à simple effet à grande vitesse ; 2° de machines à double effet à vitesse modérée ; 3° de machines rotatives ; 4° d'appareils dans lesquels la pression de la vapeur s'exerce sur des surfaces liquides.

Les machines à simple effet sont déjà très employées. Elles ont généralement trois cylindres, comme dans les systèmes de Brotherhood, Watt, Wigrell, Willans ; mais d'autres en ont quatre et même six. Ces machines peuvent, avec certaines précautions dans la construction, fonctionner sans choc à 1,400 et même 1,800 tours par minute.

La machine Brotherhood est la première en date et la plus répandue ; une machine de dix chevaux de ce système a montré un rendement organique de 75 pour 100, c'est-à-dire que 25 pour 100 seulement de la puissance étaient absorbées par les résistances propres et les frottements. Dans un essai fait par les Royal Engineers, pour faire marcher des machines Gramme, on a trouvé une dépense de vapeur de 18,5 kilogrammes par cheval et par heure, avec une pression de 6 atmosphères, 500 tours par minute et 13 chevaux développés.

Les machines à double effet sont encore jusqu'ici les plus employées, il y en a une quantité de types, horizontales, verticales avec ou sans chaudières.

Voici des chiffres relevés sur deux petites machines :

DÉSIGNATION.	N° 1.	N° 2.
	k.	k.
Pression.	3,5	2,5
Nombre de tours.	130	133
Puissance indiquée.	2,57	3,75
Puissance au frein.	2,01	3,04
Rendement organique.	0,78	0,80
Eau mesurée par cheval indiqué et par heure.	21,38	20,52
Charbon — —	6,48	4,17

On voit que la consommation considérable de combustible vient surtout de la mauvaise production de vapeur; mais la dépense relativement élevée d'eau, tient en grande partie à la faiblesse de la pression.

Un nouveau système qui semble promettre beaucoup est celui de M. Davey, qui emploie un mélange d'air et de vapeur[1].

Quant aux machines rotatives, on en a proposé et essayé un nombre infini; on peut citer entre autres la machine à disque, qui a fait beaucoup de bruit, il y a 30 ans, et dont un spécimen fut employé pendant plusieurs années à l'imprimerie du *Times*, et la machine Behrens.

L'action directe de la vapeur sur des surfaces liquides est employée pour forcer ou élever des liquides dans l'injecteur et dans d'autres appareils, dont le plus connu est le Pulsomètre.

Ces derniers dépensent beaucoup, mais ils se recommandent par leur simplicité, et peuvent surtout convenir pour des liquides spéciaux.

2° Gaz.

La première machine à gaz employée industriellement est celle de Lenoir; elle dépensait beaucoup; les expériences de M. Tresca ont donné une moyenne de 2,900 litres par cheval et par heure, aussi a-t-elle été souvent remplacée par le moteur atmosphérique Otto et Langen, qui ne dépensait pas beancoup plus de la moitié.

Mais le bruit de cette machine était un obstacle à son emploi général. La machine Otto, dite par opposition silencieuse, est venue ensuite et s'est répandue très rapidement. Cette machine a donné d'excellents résultats. On peut en citer une qui, à l'usine à gaz d'Hinckley, a marché nuit et jour pendant 14 mois, sans exiger aucune réparation. Les essais les plus récents faits par M. Crossley donnent une dépense de 680 litres par cheval, pour les forces de 1 et 1/2 cheval, et de 510 pour les machines de 16 chevaux.

1. Voir Chronique d'octobre 1880, page 442.

La machine de MM. Simon, Beechey et Cie, de Nottingham, fait agir, outre l'explosion du gaz, la vapeur d'eau engendrée par la chaleur des produits de la combustion. On a trouvé une dépense de 700 litres environ par cheval et par heure, pour une machine de 4 chevaux.

Pour les très petits moteurs de la force d'un homme environ, on emploie le système Bisschop.

3° Moteur a hydrocarbure.

Ce genre de moteur est peu employé en Angleterre, mais, paraît-il, assez répandu en Amérique. Le moteur Brayton, le plus connu, agit à peu près comme un moteur à gaz; on emploie en Allemagne le moteur Hock.

La machine Brayton dépense 4 litres de pétrole brut par cheval et par journée de 12 heures. La machine Hock emploie 1k,25 de naphte par cheval et par heure, soit une dépense de 0f,30 environ, la machine de un cheval coûtant 1,250 francs.

4° air.

On paraît avoir renoncé à l'emploi des machines à air chaud pour les grandes puissances, mais on s'en sert pour les petites forces.

Les machines dont le type est celle de Stirling emploient toujours le même air successivement chauffé et refroidi, ce sont donc des machines à cycle fermé.

Les machines du type Ericsson emploient, au contraire, à chaque coup, de l'air frais.

Parmi ces dernières on peut citer le système Hock, employé en Allemagne, et le système Belou, qui a donné lieu à des essais assez multipliés en France.

La première machine, dans des expériences faites à Vienne, par le professeur Jenny, a dépensé 4,40 kilogrammes de coke par cheval au frein et par heure.

Les machines à cycle fermé appartiennent à divers systèmes : Laubereau, Lehmann, Stenberg, van Rennes, Rider, etc.

La machine Lehmann est assez employée en Allemagne, on y en compte un millier en usage. La machine Rider est également assez répandue; un spécimen actionnant une pompe, essayé à l'Exposition d'agriculture à Birmingham, a dépensé à peu près 6 kilogrammes de combustible par cheval et par heure, soit le quart de la dépense d'un pulsomètre et le tiers de celle d'une pompe à vapeur Tangye, essayés comparativement.

Les applications les plus importantes faites jusqu'ici de l'air comprimé pour remplacer la force musculaire de l'homme, ont été réalisées dans les mines, pour la perforation ou pour le traînage; bien que la perte de puissance par la transmission soit considérable, il y a d'autres avantages qui rendent l'emploi de l'air comprimé d'une immense valeur, surtout lorsqu'on utilise des forces hydrauliques.

5° EAU.

Les chutes d'eau naturelles ont été probablement les premiers moteurs employés pour remplacer les bras de l'homme; on s'en sert encore en Suisse et dans d'autres pays pour la petite industrie. L'emploi des câbles télodynamiques permet de transporter la force à grande distance.

On a pensé naturellement à remplacer les chutes naturelles par des charges d'eau artificielles, obtenues soit par les réservoirs d'eau des villes, soit par des accumulateurs établis spécialement. Sir W. Armstrong a, dès 1849, employé l'eau des distributions d'eau des villes pour mouvoir des machines motrices et des grues. Il y a certaines difficultés tenant notamment à la variation de la pression dans les villes suivant les endroits et les heures de la journée.

Les moteurs dont le rendement est le plus élevé sont les turbines, mais on ne peut pas toujours les employer, parce que, pour leur conserver des dimensions modérées, on pourrait être obligé, dans certains cas, de leur donner des vitesses de 4 à 5 mille tours par minute. On peut toutefois citer un petit moteur à réaction à un seul bras, établi à Melbourne, qui, pour une dépense de 12,7 litres par minute, avec une charge d'eau de 60 mètres, donne un travail de 4,1 kilogrammètres par seconde. Cet appareil est muni d'un régulateur très ingénieux qui règle la vitesse.

La machine à pression d'eau la plus employée est la machine oscillante de Schmid; à Zurich, où est établi ce constructeur, il y en a plus de cent. Il y a également la machine à trois cylindres de Ramsbottom. Ces machines sont très employées à Greenock, où l'eau à 90 mètres de charge ne coûte que 11 centimes le mètre cube; le cheval coûte donc, par heure, 66 centimes, ce qui est encore très cher par rapport aux machines à gaz qui ne dépenseraient que 12 à 15 centimes pour la même force.

Une difficulté de l'emploi des machines à pression d'eau est la constance de la dépense, quelle que soit la charge[1]. On y a remédié de diverses manières, notamment par la disposition de M. Hastie de Greenock. On a également employé comme moteur à pression d'eau la machine à trois cylindres de Brotherhood.

Avec les accumulateurs on peut avoir des charges d'eau très élevées, 50 kilogrammes généralement par centimètre carré. La compagnie *Water-Power* de Hull vend l'eau en charge à raison de 1 fr. 10 le mètre cube. La moyenne du prix dans les docks anglais est de 0 fr. 43 pour 100 tonnes élevées à 1 mètre, ce qui correspond à 1 fr. 16 par cheval et par heure, prix évidemment élevé pour un moteur mécanique, mais avantageux si on le compare au coût des moteurs animés.

6° ÉLECTRICITÉ.

L'électricité développée par la pile n'est pas employée pour produire de

1. Voir Chronique de mai 1880, page 651.

la force motrice, le zinc qui est l'agent combustible est trop cher; mais on a réussi à transmettre l'électricité produite par une machine électro-dynamique pour faire fonctionner une autre machine; dans ce cas le rendement définitif est le produit des rendements des deux machines.

L'auteur ne donne guère que des considérations purement théoriques sur ce sujet; on connaît les récents progrès réalisés en France dans cet ordre d'idées.

M. Shaw examine la question de l'avantage comparatif des divers moteurs, en rappelant que le prix de revient de la puissance s'obtient par la somme de : 1° l'intérêt et l'amortissement du prix d'achat de la machine; 2° du coût de la production du travail; et 3° de l'entretien de l'appareil.

Ces divers éléments varient considérablement d'un moteur à l'autre. Il est d'ailleurs difficile de rien dire d'absolu à cet égard. Il y a des cas où l'emploi des petits moteurs est indiqué, par exemple, si la division extrême de la puissance est nécessaire, comme dans l'industrie en chambres et autres cas analogues et lorsque, comme à bord des navires à vapeur et dans les docks, on a une force considérable établie dans un autre but et dont on peut distraire une faible partie pour remplacer la force de l'homme.

La première question a été étudiée par M. Hell, au point de vue de l'Allemagne, dans son ouvrage intitulé *Klein Kraft Maschinen;* il conclut en faveur des moteurs à gaz Otto et des machines à air chaud de Lehmann et de Hock.

En Angleterre la machine à gaz est très employée pour la petite industrie et surtout par les imprimeurs, pour lesquels la propreté est une condition essentielle. Un de ses importants usages est la production de la lumière électrique. A Glasgow et Greenock, les moteurs à pressions d'eau sont au contraire plus employés, on s'en sert même dans les églises pour mouvoir les soufflets des orgues.

Dans le second cas, les conditions sont différentes. Sur un steamer on a de la vapeur, et aucun agent ne peut entrer en comparaison. Dans les docks, l'emploi de l'eau sous pression est préférable à cause principalement de la distance. On peut dire, comme conclusion, qu'il n'est pas possible de trancher la question d'une manière absolue entre les divers moteurs et que chacun peut avoir sa raison d'être dans des circonstances données, la préférence à lui accorder dépendant d'une foule de considérations qu'on ne peut préciser à l'avance et d'une manière générale.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ALLEMANDS.

7me livraison de 1880.

Des dimensions et du nombre des piles des ponts métalliques (fin), par M. Weiss.

Diagrammes d'indicateur relevés sur les pompes élévatoires, par M. Oesten, de Berlin.

Le labourage à vapeur, par le professeur Wüst, de Halle.

Sur la fabrication de la soude par l'ammoniaque, par M. Kämmerer, de Manheim.

De la vitesse des machines à vapeur.

Machine à vapeur à cylindres conjugués.

Du rendement et de la consommation de combustible des divers systèmes de charrues à vapeur.

Sur la fabrication des briquettes en Westphalie.

Sur un nouveau système de construction de navires.

Les grands vapeurs transatlantiques.

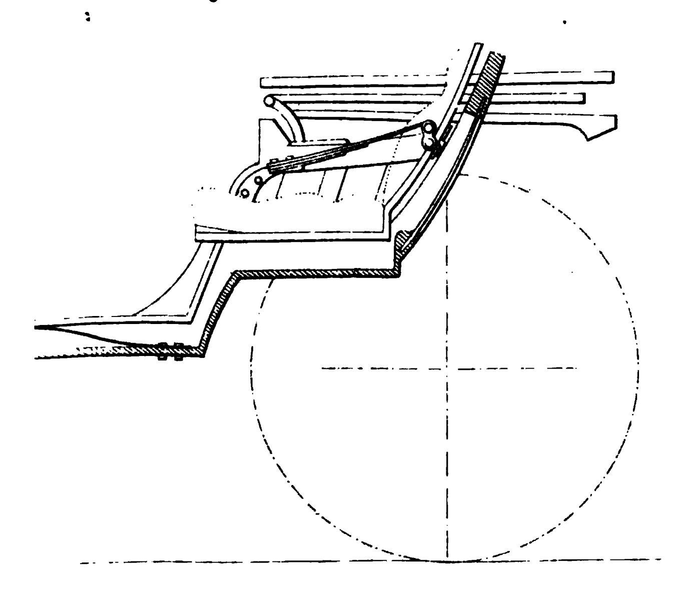
Le Secrétaire-Rédacteur,

A. MALLET.

PARIS. — IMPRIMERIE E. CAPIOMONT ET V. RENAULT, RUE DES POITEVINS, 6.
Imprimeurs de la Société des Ingénieurs civils.

ndau carré (1/20e)

n à un Mylord. (1/20e)



Teintes Conventionnelles:

Air pur froid	
Air pur chaud	
Air pur mélangé	
Air vicié	

Légende

a — *Chambres d'air pur froid*

b — *Chambres de chauffe*

c — *Chambre de mélange pour le parterre*

d — — — d° — pour les couloirs

e — — d° — pour les amphithéâtres

g — *Gaînes directes d'air pur froid* (servant l'hiver au mélange.)

h — *Evacuation d'air vicié.*

r — *Réflecteurs à brûleurs spéciaux* (aidant à la ventilation.)

s — *Hélice d'insufflation*

u — *Hélice d'évacuation*

v — *Surfaces de chauffe*

x — *Galeries et gaînes d'air pur froid pour la ventilation additionnelle d'été.*

e

b

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

DÉCEMBRE 1880

N° 12

Pendant le mois de décembre les questions suivantes ont été traitées :

1° *Comité consultatif des chemins de fer.* Nomination de M. Gottschalk, président de la Société, comme membre de ce Comité. (Séances des 3 et 17 décembre, pages 618 et 628.)

2° *Soupapes de sûreté des chaudières à vapeur* (Communication de M. Georges Delaporte, d'un Mémoire de M. le baron de Burg, sur l'efficacité des). (Séance du 3 décembre, pages 619.)

3° *Dynamite-Gomme, ou gélatine explosive*, par M. Moreau. (Séance du 3 décembre, pages 623.)

4° *Génie civil* (le) et les Congrès de 1880, par M. Trélat. (Séance du 3 décembre, pages 628.)

5° *Situation financière de la Société* (Exposé de la), par M. le Trésorier. (Séance du 17 décembre, pages 643.)

6° *Élection des Membres du Bureau et du Comité.* (Séance du 17 décembre, pages 646.)

Pendant le mois de décembre la Société a reçu :

De M. A. Cottrau, membre de la Société, plusieurs brochures sur les *Chemins de fer économiques*, réunies en un volume. (Ouvrage en italien.)

De M. Noack-Dolfus, une note sur l'*Utilisation des cendres et des crasses de houille dans la confection d'une maçonnerie économique dite Pisé de mâchefer*.

De M. E. Charton, membre de l'Institut, la troisième édition du *Dictionnaire des professions*.

De M. Comolli, une notice sur la *Machine à vapeur rotative*.

Le Tunnel du mont Blanc, les passages des Alpes et le Jura français.

De M. Vuillemin, membre de la Société, le tome Ier de son ouvrage : *Le bassin houiller du Pas-de-Calais*.

De M. Bocquet, membre de la Société, une note sur une *Nouvelle méthode de filletage à* 2, 4 *et* 6 *roues*.

De M. Léon Malo, membre de la Société, le compte rendu de sa conférence sur l'*Asphalte*, donnée au Conservatoire des Arts et Métiers, le 14 novembre 1880.

Les Membres nouvellement admis sont :

MM. Aron, présenté par MM. Arson, Brull et Rouché.
Belinne, présenté par MM. Lecherf, Pirot et Zimmer.
Bergeron, présenté par MM. Le Roy, Mallet et Périssé.
Bergés, présenté par MM. Degousée, Lebon et Marsillon.
Billaudot, présenté par MM. Chabrier, Gottschalk et Loustau.
Bocandé (de), présenté par MM. Carimantrand, Mallet et Marché.
Bouvier, présenté par MM. Arson, Gottschalk et Jordan.
Chabardès, présenté par MM. Carimantrand, Mallet et Marché.
Cottenet, présenté par MM. Gottschalk, Le Roy et Périssé.
Couvreux père, présenté par MM. Chabrier, Gottschalk et Hersent.
Couvreux fils, présenté par MM. Chabrier, Gottschalk et Hersent.
Delachanal, présenté par MM. Moreau, Thirion et Vigreux.
Desmons, présenté par MM. Degousée, Guérin et Lippmann.
Despret, présenté par MM. Gottschalk, Jordan et Loustau.
Dothée, présenté par MM. Gottschalk, Marché et Mathieu.

Freulon, présenté par MM. Brossard, Calabre et Hallopeau.
Genès, présenté par MM. Moreau, Thirion et Vigreux.
Grousselle, présenté par MM. Dupuis, Gillot et Savy.
Guitton, présenté par MM. Chabrier, Gottschalk et Regnard.
Guyon, présenté par MM. Chabrier, Gottschalk et Mallet.
Halphen (Émile), présenté par MM. Carimantrand, Mallet et Marché.
Hennaü, présenté par MM. Chabrier, Charton et Gottschalk.
Hermand, présenté par MM. Brossard, Gressier et Jubert.
Hutton, présenté par MM. Gottschalk, Mallet et Pontzen.
Joly de Bammeville, présenté par MM. de Coëne, Poncin et Rondeau.
Jouve, présenté par MM. Fichet, Gautier et Gottschalk.
Karazinski, présenté par MM. Barrault, de Comberousse et Demimuid.
Lasne, présenté par MM. Chabrier, Gottschalk et Thomas.
Levesque, présenté par MM. Delmas, Gottschalk et Mallet.
Levi, présenté par MM. Carimantrand, Mallet et Marché.
Mair, présenté par MM. Chapman, Gottschalk et Oughterson.
Max-Lyon, présenté par MM. Denis, Dornès et Guillemin.
Meuron (de), présenté par MM. Colladon, Gottschalk et Mallet.
Michalowski, présenté par MM. Carimantrand, Mallet et Morandiere.
Monjean, présenté par MM. Gottschalk, Level et Mathieu.
Moulin, présenté par MM. Bonpain, Dollot et Poncin.
Nansouty (de), présenté par MM. Carimantrand, Mallet et Marché.
Neveu, présenté par MM. Gottschalk, Lippmann et Potier de la Berthelière.
Odier, présenté par MM. Colladon, Gottschalk et Mallet.
Pauchon, présenté par MM. de Coëne, Bonpain et Poncin.
Ratuld, présenté par MM. Gottschalk, Le Roy et Périssé.
Roy, présenté par MM. Chabrier, Rey et Roussel.
Schoubart, présenté par MM. Chabrier, Mardelet et Clerc.

MÉMOIRE

SUR LA

DYNAMITE - GOMME

OU GÉLATINE EXPLOSIVE

PAR M. AUGUSTE MOREAU.

L'industrie des explosifs a pris depuis quelques années un très grand développement chez tous les peuples civilisés ; et, dans ces derniers temps surtout, l'emploi de la dynamite a permis de réaliser dans la pratique des travaux, des économies considérables.

Cette substance s'est en effet propagée rapidement dans toutes les contrées du globe ; elle a été immédiatement appréciée pour les services qu'elle a rendus en Autriche, en Allemagne, en Suisse, en Italie, en Amérique, et même en Angleterre où elle avait pourtant à lutter contre un redoutable concurrent, le fulmicoton comprimé d'Abel.

En France aussi, elle a su faire son entrée et s'imposer malgré les obstacles dressés devant elle par l'Administration ; mais, à peine avait-elle forcé nos portes, qu'elle commençait par tomber sous cette lourde férule qu'on appelle le monopole de l'État. Le corps des Ingénieurs des Poudres se réserva la fabrication et la vente de la dynamite sous le prétexte de la sécurité publique ; en réalité, il n'était pas fâché de se ménager un nouveau moyen d'augmenter son importance tout en écartant la concurrence de l'industrie privée et du Génie civil.

Or, il faut noter que sauf en Russie, la fabrication des explosifs est complètement libre dans tous les pays : nous ne nous trouvons cependant pas à ce point inférieurs à tous nos voisins que nous ayons besoin d'être protégés, même malgré nous. Heureusement ce régime a cessé en 1875 et la fabrication, comme la vente de la dynamite, est aujourd'hui parfaitement libre en France.

I

Depuis son invention (1868), la dynamite a fait bien des progrès et subi bien des perfectionnements. Nous ne reprendrons pas l'étude de la dynamite ordinaire; à plusieurs reprises déjà d'intéressantes communications ont été faites à la Société sur ce sujet.

Dès le mois de mai 1870, un de nos collègues, M. Paul Barbe, qui le premier introduisit la dynamite en France, faisait don à notre bibliothèque de sa brochure intitulée « la dynamite Nobel. »

Pendant la période néfaste de 1870-71, notre Société ne resta pas inactive, et chacun apporta à la Défense le concours patriotique de son expérience et de ses lumières. La dynamite n'avait pas encore pu se faire accepter par l'Administration française : la guerre lui fournit l'occasion de faire ses preuves, et l'on sait le rôle important qu'elle a joué pendant le siège de Paris. Notre vice-président, M. Brüll fut un de ses plus ardents propagateurs, et il nous en a exposé les principales applications à l'art militaire (applications qu'il avait le plus souvent faites lui-même), dans les séances du 28 octobre 1870, 19 décembre 1870 et 17 mars 1871.

Plus récemment, en 1873, M. Alfred Caillaux, avec sa haute compétence, a traité de nouveau et très complètement la question de la dynamite et de ses applications aux travaux du Génie civil.

Tout dernièrement enfin, en 1878, M. Paul Barbe que nous avons déjà cité, publiait sur le même sujet un « Manuel du mineur, mode d'emploi de la dynamite » dont il vient de refaire, il y a peu de jours, une seconde édition, et qui nous a fourni un grand nombre de renseignements inédits sur le nouvel explosif.

Aujourd'hui nous venons à notre tour entretenir nos Collègues du dernier progrès réalisé dans cette voie, et leur faire connaître ce nouveau produit qui a tant fait parler de lui dans ces derniers temps, surtout à propos du Saint-Gothard, et qu'on nomme la *dynamite-gomme* ou *gélatine explosive*.

II

Essais tentés dans le but d'améliorer la dynamite ordinaire.

Bien des tentatives avaient été faites dans le but de perfectionner l'ancienne dynamite, et d'éviter surtout son inconvénient le plus grave : l'*exsudation*, c'est-à-dire la séparation de la nitroglycérine, de la silice qui lui sert de véhicule.

Ainsi, en Autriche, et sur les indications de M. Nobel, le capitaine Trauzl fabriquait le premier la dynamite *à la cellulose*, c'est-à-dire dans laquelle la cellulose ou matière cellulaire du bois bien pure, remplaçait la matière absorbante ordinaire, cette silice poreuse appelée *kieselgûhr*. Elle est connue dans le commerce sous le nom de dynamite 0, et contient comme la dynamite normale ou n° 1, 75 pour 100 de nitroglycérine.

Au point de vue militaire, ce produit présentait un certain avantage, comme le constata la marine française dans des expériences qu'elle fit à Toulon, c'est qu'imbibée de 15 à 20 pour 100 d'eau, la dynamite 0 est insensible au choc des balles; et dans cet état, ses propriétés explosives ne sont en rien altérées. Mais sous le rapport de l'exsudation, on n'avait réalisé aucun progrès : bien au contraire, cette dynamite laissait exsuder la nitroglycérine sous la moindre pression.

Comme applications industrielles, la *cellulose-dynamite* offrait deux inconvénients qui la firent rejeter; le premier venait de sa trop faible densité, le second de la présence de l'oxyde de carbone qui est très délétère, dans les gaz de l'explosion. Ce dernier inconvénient est général avec les explosifs à base de cellulose comme le fulmicoton, par exemple.

En réalité, une solution meilleure au double point de vue industriel et militaire fut réalisée dès 1871 par la confection de la dynamite à la cellulose nitrée. Avec 10 à 15 pour 100 d'eau, elle détonait encore sous l'action d'un fulminate énergique, mais devenait insensible au choc des projectiles et au feu. Cependant, vu son prix relativement plus élevé, on dut se borner à l'employer pour la confection des cartouches militaires destinées à faire faire explosion à la dynamite gelée.

La plupart de ces intéressantes expériences furent faites en Autriche, où l'on déploya avec succès de très grands efforts pour introduire la dynamite dans l'armée, de même qu'autrefois le feld-maréchal Lenk avait immédiatement tenté, mais en vain, d'appliquer le fulmicoton à l'artillerie.

Le Comité autrichien, en dehors de considérations purement locales, se basa sur les raisons suivantes pour adopter la dynamite dans l'armement[1].

1° Le prix de la dynamite est inférieur à celui du fulmicoton.

2° Sa consistance pâteuse lui permet de prendre la forme de tous les récipients, tandis que la forme des galettes de fulmicoton est définitive et ne peut être modifiée.

Cependant, on n'avait pas encore à cette époque suffisamment observé l'action de l'eau sur la dynamite, les conditions de l'exsudation, l'effet produit par le choc des balles. On ignorait également que le fulmicoton comprimé peut, même mouillé, faire explosion sous l'action d'un fulminate énergique, quoi qu'il soit en cet état insensible au choc des balles et à l'action du feu.

Ces dernières propriétés donnaient évidemment l'avantage au fulmicoton Abel sur la dynamite ordinaire, et, si nous insistons sur ces détails, c'est que de là est précisément sortie l'invention de la *dynamite-gomme*.

M. Nobel chercha en effet à donner à la dynamite ces différentes propriétés fort précieuses. Il était en même temps préoccupé d'un autre inconvénient de la dynamite ordinaire qui consiste à dépenser 7 à 8 parties des 75 pour 100 de nitroglycérine qu'elle contient, à chauffer en pure perte l'absorbant inerte qui sert de récipient à l'huile explosive.

En 1877, M. Nobel avait terminé ses recherches et enrichi la science et l'industrie d'un nouveau produit : la *gélatine explosive* dont nous allons étudier maintenant les diverses propriétés.

1. Capitaine Hess. — Autriche.

III

Propriétés physiques et chimiques de la gélatine explosive.

M. Nobel parvint, en effet, à fabriquer une espèce particulière de fulmicoton analogue à celui qui s'emploie dans la préparation du collodion photographique. En le dissolvant dans la nitroglycérine, on obtient une sorte de gélatine ressemblant à s'y méprendre à la pâte de jujube. Ceux de nos Collègues qui ont visité en 1878 les échantillons non explosifs du nouveau produit exposé dans la classe 50 au Champ de Mars, doivent se rappeler l'aspect gommeux et ambré caractéristique du nouvel explosif.

La dynamite-gomme est, d'après M. Nobel, une combinaison chimique et non un simple mélange de 7 à 8 pour 100 de coton-poudre et de 92 pour 100 de nitroglycérine; la combinaison s'opère dans certaines conditions spéciales de température et à l'aide de certains dissolvants. On peut varier l'espèce de nitrocellulose employée : coton-poudre, pyroxiles divers, collodion soluble, etc. Selon le produit choisi et la quantité utilisée, on obtient à volonté une gomme d'aspect corné, ou bien un sirop, ou une sorte de miel, etc.

M. Nobel constata en outre que pour les usages militaires, on peut insensibiliser ce corps pour ainsi dire au degré voulu par l'adjonction de certaines substances comme le camphre, la nitrobenzine, l'acétine, etc. L'expérience a prouvé aujourd'hui que le meilleur corps à employer pour insensibiliser la gélatine est la nitrobenzine [1]. Dans la pratique, il est plus facile et plus économique d'employer le camphre, et le produit est rendu complètement maniable par l'addition de 4 pour 100 de ce corps qui, sans altérer en rien les qualités de la gélatine, en diminue la sensibilité à peu près dans les mêmes proportions que celle du fulmicoton est diminuée par l'addition de 15 à 20 pour 100 d'eau.

La dynamite-gomme courante, non insensibilisée, telle qu'elle est répandue aujourd'hui dans l'industrie, est un corps élastique généralement transparent de couleur jaune ambrée; un peu plus lourd que l'eau, sa densité est 1,6. On peut la couper comme la pâte de jujube à

1. Paul Barbe : *la dynamite et l'électricité.*

laquelle nous l'avons déjà comparée, et la soumettre à une pression de 1,000 kilogr. par centimètre carré sans qu'il y ait la moindre trace d'exsudation. Il en est de même si on la porte à une température de 70 degrés centigrades.

Il suffit de 1/4 pour 100 d'eau dans sa masse pour qu'elle conserve un aspect opalin qu'elle perd du reste peu à peu par suite de l'évaporation de ce liquide.

A l'air cet explosif brûle tranquillement comme la dynamite ordinaire en crépitant légèrement et sans détoner. En détonant, elle fait entendre un bruit plus clair que la dynamite et produit moins de fumée. De plus, les gaz produits par l'explosion ne fatiguent pas les ouvriers; cette propriété est d'autant plus précieuse que l'emploi du fulmicoton comprimé, par exemple, fatigue beaucoup le personnel à cause de l'oxyde de carbone qu'il dégage.

Mais, la qualité fondamentale de ce nouvel explosif, est la sécurité qu'il présente dans son maniement, sécurité qui résulte de ce que la nitroglycérine étant gélatinisée, toute chance d'exsudation a disparu, et la sensibilité au choc est en même temps fort diminuée. La dynamite-gomme et ses dérivés sont par suite infiniment moins sensibles au choc que la dynamite ordinaire n° 1 à 75 pour 100 de nitroglycérine, et à plus forte raison que la nitroglycérine. Nous reviendrons plus loin en détails sur cette propriété; il nous suffira pour le moment de dire qu'il faut de 3 à 5 kilogrammètres pour amener l'explosion de la gélatine, tandis que la dynamite ordinaire détone sous le choc de 1 kilogrammètre.

Enfin, le nouveau produit est inaltérable à l'eau : il se recouvre simplement à la longue d'une mince pellicule blanche sans que les propriétés de l'explosif soient en rien modifiées.

Les Autrichiens, selon leur coutume, s'emparèrent immédiatement du nouvel explosif et en firent l'essai dès l'année 1878.

La Commission reconnut que le nouveau corps était parfaitement stable, qu'il résistait parfaitement aux chocs, aux frottements, aux plus fortes pressions. Renfermé dans une boîte en fer-blanc, il ne fit qu'imparfaitement explosion sous l'action du fulminate, et on retrouvait après chaque détonation des morceaux de matière intacts.

A l'air libre, il arrive fréquemment qu'une partie seulement de la matière fait explosion et le reste est simplement projeté ou brûlé. On

ne lui fait produire tout son effet qu'en l'employant dans un espace entièrement fermé, tel qu'un trou de mine par exemple.

C'est en effet là un point faible de la gélatine ordinaire, et à plus forte raison de la gélatine insensibilisée : c'est qu'il faut l'emploi d'un détonateur spécial et très puissant pour amener son explosion complète ; mais en revanche c'est un avantage au point de vue de la sécurité, et nullement un inconvénient dans la pratique : tout revient à une question de confection d'amorces. Il est, au contraire, extrêmement précieux de pouvoir à volonté diminuer le degré de sensibilité d'un explosif, et rien n'est plus facile avec la gélatine par un dosage convenable et raisonné de la proportion de nitrobenzine, d'acétine, et plus particulièrement de camphre.

A la suite de ses expériences, le Comité militaire autrichien conclut que la gélatine surpasse en puissance tous les autres explosifs connus, la nitroglycérine elle-même, qu'elle réunit en même temps la force à l'insensibilité qu'on voudra lui donner, qu'elle est facilement transportable, ne laisse jamais exsuder la nitroglycérine sous les plus fortes pressions, et qu'elle convient tout à fait aux diverses applications qui se présentent dans les opérations de guerre.

On constata encore qu'elle est insensible au choc et aux vibrations les plus énergiques, et même aux explosions des corps voisins, surtout lorsqu'elle a été insensibilisée.

Enfin, comme nous l'avons déjà dit, le feu ne produit pas son explosion ; mise en contact avec un corps enflammé, elle brûle simplement sans détoner.

Ces propriétés connues, on aura dans l'avenir tout intérêt à charger de gélatine les torpilles marines, qui se chargent actuellement au fulmicoton, et peuvent être facilement éventées. On n'a pour cela qu'à lancer sur leur emplacement d'autres torpilles chargées de dynamite-gomme qui déterminent par influence l'explosion des engins de la première ligne. Le fulmicoton en effet, comme l'a parfaitement démontré M. Abel, directeur du laboratoire de Woolwich, détone parfaitement sous l'influence des vibrations dues à une explosion voisine. On peut donc arriver avec la gélatine, à découvrir toute une ligne de défenses sous-marines et à la rendre impuissante en déterminant son explosion.

Au point de vue exclusivement militaire, et les événements nous ont malheureusement prouvé que le Génie civil n'a pas le droit de se désin-

téresser de ces questions, des expériences fort concluantes ont été encore faites par le Comité autrichien. Elles avaient pour but de savoir :

1° Comment se comportait sous l'action d'une balle tirée à 25 mètres, le nouvel explosif contenant différentes proportions de camphre, gelé ou à l'état élastique, ou après avoïr été pendant plusieurs jours exposé à une température de 30 à 40 degrés.

2° De comparer la force de la gélatine à celle de la dynamite, pour détruire les poutres en bois, les plaques de fer, etc.

3° D'examiner l'action de l'eau et de la pression sur le nouvel explosif.

4° D'étudier la transmission de l'explosion d'une charge à d'autres charges placées dans le voisinage.

5° De déterminer la différence des puissances des amorces.

6° De constater la résistance de la gélatine au choc d'un marteau-dynamomètre.

Pour cela, un petit cube de gélatine de $0^{m},01$ de côté fut soumis pendant 3 heures à une pression de 2,000 kilogr. et ne présenta pas la moindre trace d'exsudation ; la pression cessant, le corps élastique reprit sa forme primitive.

Contre une plaque de fer de $0^{m},02$ d'épaisseur on a placé dans un cadre une couche de gélatine explosive de $0^{m},01$ d'épaisseur et l'on a tiré dessus à une distance de 25 mètres avec le fusil d'infanterie sans déterminer d'explosion.

Des amorces de 1 gramme de fulminate n'ont pu amener l'explosion de la substance, même en la plaçant dans une enveloppe de tôle ; il en a été de même avec les cartouches amorces au coton-poudre et nitroglycérine destinées à faire partir la dynamite gelée. Il a fallu préparer des amorces spéciales au moyen du coton-poudre trinitré saturé de nitroglycérine.

En résumé, voici les conclusions de ces diverses expériences : sous l'effet du tir d'une balle on constata que :

1° La gélatine explosive au camphre résiste parfaitement au choc de la balle tant qu'elle n'est pas gelée, et même dans les plus mauvaises conditions puisqu'elle était placée sur de la tôle et frappée normalement.

2° Ce même explosif, quand il est gelé, reprend de la sensibilité et peut faire explosion sous le choc des balles.

3° Il semble suffire d'interposer une planche en bois devant la boîte métallique contenant la gélatine gelée, pour qu'elle ne fasse pas explosion sous le choc des balles.

4° La gélatine appuyée contre du bois au lieu d'une plaque de fer, pourvu que sa teneur en camphre dépasse 2 pour 100, est insensible au choc répété des balles et semble offrir une entière sécurité.

5° Dans les mêmes conditions, et avec une teneur en camphre au moins égale, la gélatine gelée résiste à l'action de la balle.

Il restait à s'assurer si le camphre pouvait s'évaporer facilement de la gélatine en laissant reprendre à cet explosif sa sensibilité propre.

On plaça à cet effet de la gélatine à 4 pour 100 et à 1 pour 100 de camphre en parallélépipèdes de 26 millim. d'épaisseur sur la toile d'un tamis, de façon à faciliter le renouvellement de l'air autour d'elle; le tout fut maintenu pendant 48 heures à 40 degrés; puis on recommença les expériences de tir sur cette gélatine; on n'obtint ni inflammation ni explosion. On peut donc conclure que la perte de camphre par évaporation dans les conditions de température normale, ne semble pas diminuer notablement l'insensibilité de la dynamite-gomme. Il est toujours possible du reste de mettre assez de camphre dans la gélatine pour qu'on soit assuré qu'après évaporation il en restera toujours au moins 1 pour 100 dans la masse.

Par des expériences de rupture sur des pièces de bois, la force de la dynamite-gomme à 4 pour 100 de camphre fut reconnue dépasser de 25 pour 100 celle de la dynamite ordinaire. Ce résultat fut confirmé par des essais sur des plaques de fer; pour briser uue plaque de 13 millimètres d'épaisseur, il fallait 80 grammes de gomme et 100 grammes de dynamite ordinaire de première qualité.

Des essais faits avec de la gélatine gelée amenèrent la destruction complète des plaques de 13 millim. et prouvèrent que cet explosif gelé est au moins aussi puissant que la meilleure dynamite à l'état mou [1].

Pour obtenir avec certitude la rupture de plaques en fer, il faut employer les charges suivantes :

100	grammes	pour les plaques de	13	millim.	d'épaisseur
160	—	—	26	—	—
190	—	—	40	—	—

1. Capitaine Hess. — Autriche.

IV

Effets de la chaleur et du feu.

Comme nous l'avons déjà dit, la dynamite-gomme brûle tranquillement à l'air sans détoner, exactement comme la dynamite ordinaire et le coton-poudre sec (humide, le fulmicoton ne brûle pas).

Il est probable, comme pour les deux autres explosifs que nous venons de citer, que, quand le feu est mis à une grande masse, l'explosion finit par se produire au bout d'un certain temps. Mais, l'essentiel est que le produit ne soit pas trop inflammable et que l'explosion ne s'ensuive pas trop vite après qu'un point de la masse a été enflammé.

Dans tous les cas, comme la gélatine se conserve bien sous l'eau, on peut la renfermer dans des tonneaux pleins d'eau, à la façon du gun-cotton humide, et, dans cet état, elle présente pour le transport et les manutentions des conditions de sécurité bien supérieures à celles de la dynamite ordinaire.

Quant à l'action de la chaleur, la gomme maintenue pendant 8 jours à une température de 70° C. ne présente aucune trace de décomposition ni d'exsudation.

Nous avons signalé d'une manière générale l'importance qu'il y avait à s'assurer si le camphre, qui insensibilise la gélatine, ne s'évaporait pas sous l'effet de la chaleur. De nombreuses expériences furent faites dans ce but : nous citerons la suivante qui se présentait dans les conditions les plus favorables à l'évaporation de cette résine.

On plaça un échantillon de quelques grammes dans un verre de montre qui fut chauffé 6 à 7 heures par jour pendant deux mois. On constata au bout de ce temps l'évaporation de moitié du camphre et d'une petite quantité de nitroglycérine. Mais, grâce à sa structure gélatineuse, le nouvel explosif avait pu garder la moitié de son camphre malgré le traitement énergique et prolongé auquel on l'avait soumis.

Cette question, très importante, surtout au point de vue des applications militaires, fut encore étudiée de très près par les Autrichiens. Ils voulurent savoir si la puissance et la sécurité que présente la gomme dans son emploi, ne diminuent pas par suite d'un long emmagasinage ou de transports faits en toutes saisons. Il était donc utile de constater, non seulement si le camphre ne se volatilise pas à la longue, mais,

si dans le magasin ou pendant le transport, la nitroglycérine et le fulmicoton ne s'altèrent pas. Or les conclusions du capitaine Hess sont très nettes : « Nos expériences, dit-il, ont prouvé que dans des « conditions très mauvaises, la perte du camphre par volatilisation « n'est pas suffisante pour diminuer sensiblement l'insensibilité de « l'explosif. On peut du reste parer à cet inconvénient en faisant choix « d'un emballage convenable destiné à soustraire le plus possible cet « explosif à l'action de l'air.

« Quoi qu'il en soit, la gélatine même sans camphre résiste infini- « ment mieux que la dynamite au choc d'un marteau-dynamomètre.....

Pour qu'un explosif à base de nitroglycérine se conserve bien, le point important est qu'il ait été fabriqué avec soin : c'est ce qui a lieu chez M. Nobel, et une preuve, c'est que le Comité militaire autrichien conserve dans ses magasins depuis plus de dix ans, de la dynamite qui ne présente aucune trace d'altération.

D'après le même auteur, la gélatine pure, c'est-à-dire privée de camphre, peut faire explosion quand on porte sa température à 240°, lentement ou brusquement. Avec 4 pour 100 ou plus de camphre, on peut la porter graduellement à n'importe quelle température, sans amener d'explosion; à un moment donné, elle s'enflamme simplement en produisant un certain crépitement et jetant des étincelles. Il n'est pas inutile de signaler en passant que de 300 à 330° la poudre aurait détoné.

Enfin, une dernière expérience fort curieuse faite en Autriche permit de s'assurer que le camphre ne pousse pas comme toutes les térébenthines, à la production de l'ozone qui, à la longue, décompose la nitroglycérine.

On prit pour cela 3 ballons ayant chacun deux litres de capacité et on les nettoya soigneusement. L'un d'eux fut laissé vide; dans un second on mit 10 grammes de camphre et dans le dernier quelques gouttes de térébenthine. Puis, dans chacun d'eux on suspendit à l'extrémité d'un fil de platine le réactif classique de l'ozone, un papier imprégné d'iodure de potassium et d'amidon.

Le papier placé au-dessus de la térébenthine commença à se colorer au bout d'un quart d'heure, et au bout d'une heure il était bleu foncé; quant aux deux autres ballons, ils ne donnèrent que 3 jours après la même coloration sensible due à l'ozone de l'atmosphère. On en conclut donc que le camphre ne pousse pas à la production de l'ozone.

V

Effets du choc. Amorce spéciale.

Nous avons dit que sous l'action d'une balle et même à 25 mètres, la dynamite-gomme ne fait pas explosion. La dynamite ordinaire, même derrière des planches, détone sous le choc d'une balle tirée à 1000 pas. La gomme au camphre résiste même quand on l'appuie contre de la tôle; elle résiste également au choc du marteau quand on en met une parcelle sur une enclume.

Au marteau-dynamométre, les expériences n'ont pas été suffisamment nombreuses et ne sont pas concluantes. Cependant, on sait que la dynamite ordinaire demandant pour faire explosion un choc de 0,40 à 1 kilogrammètre; la gomme au camphre exige au minimum 2,50 kilogrammètres.

La gomme au camphre est en outre complètement insensible aux chocs et aux explosions qui se produisent dans son voisinage, et nous avons expliqué qu'il y aurait tout intérêt à en charger les torpilles. Il sera prudent cependant de prendre quelques précautions vis-à-vis de l'amorce qu'il faudra placer au milieu même de la charge de gélatine et dans de petites boîtes spéciales qui la mettent à l'abri des mouvements vibratoires extérieurs.

Cette insensibilité de la gélatine, et surtout de la gélatine au camphre, a constitué une véritable difficulté dans la pratique; on se trouvait en présence d'une substance explosive des plus puissantes, et l'on était, chose singulière, embarrassé pour lui faire faire explosion! Les capsules fortement chargées de 1 gramme de fulminate de mercure employées pour faire détoner la dynamite ordinaire se trouvaient ici tout à fait impuissantes. Et cependant, ce fulminate, grâce à sa grande densité, à l'instantanéité de son explosion lorsqu'on l'enflamme, et à l'absence presque complète de dissociation des produits, constitue l'une des matières brisantes les plus parfaites que l'on connaisse. Voici en effet les produits de sa détonation :

$$C^4 Az^2 Hg^2 O^4 = 4 CO + 2Az + 2 Hg$$ [1].

On voit qu'on obtient trois gaz des plus fixes.

1. Berthelot et Vieille. — *Étude des propriétés explosives du fulminate de mercure.*

On essaya les cartouches-amorces réglementaires destinées à faire partir la dynamite gelée ; ces cartouches composées de 75 pour 100 de nitroglycérine et de 25 pour 100 de coton-poudre haché, n'amenèrent pas l'explosion complète de la gomme.

Il fallut donc chercher une amorce spéciale ; on y arriva en nitrant le coton dans l'état particulier de farine préparé par la méthode Girard ; le produit ainsi obtenu porte le nom de *nitrohydrocellulose*. En imprégnant ce coton-poudre de nitroglycérine jusqu'à saturation, on obtient une amorce capable de faire produire à l'explosion de la gélatine, toute la puissance qu'elle peut développer.

On s'arrêta à un mélange de 60 de nitroglycérine et de 40 de nitrohydrocellulose ; ce fulmicoton, à la vérité, retient dans ses pores moins de nitroglycérine que le gun-coton Abel pulvérisé, mais il n'a aucune tendance à produire de la gélatine en s'unissant à elle.

L'ancienne composition citée plus haut, (coton-poudre Abel 25 et nitroglycérine 75) présentait en effet cet inconvénient que, vu le peu d'uniformité du coton-poudre, une partie s'unit à la nitroglycérine et la gélatinise. Il en résulte dans la masse des nœuds qui diminuent l'instantanéité de l'explosion.

Cette ancienne amorce présentait en même temps une densité moins grande que la nouvelle ; les tubes militaires n'en pouvaient contenir que 15 à 17 grammes, tandis qu'ils renferment 19 à 20 grammes d'amorces à la nitrohydrocellulose.

Des expériences faites sur ces amorces démontrèrent que la nouvelle avait une force presque double de celle de l'ancienne ; ainsi à volume égal, les plaques métalliques sur lesquelles le même effet était produit avaient des épaisseurs de 5 millim. dans un cas et de 9 dans l'autre. Il est bon de noter que ces amorces perdent notablement de leur force quand elles sont gelées.

Le capitaine Hess que nous avons déjà cité fit des expériences pour s'assurer de la stabilité de la matière de l'amorce, en même temps qu'il étudiait la fixité de la gélatine sous l'influence de la chaleur.

Il prit pour cela deux éprouvettes : dans l'une il plaça 20 grammes de gélatine à 4 pour 100 de camphre et dans l'autre 20 grammes de nitrohydrocellulose imprégnée de nitroglycérine dans la proportion des nouvelles amorces. La température fut portée et maintenue à 70° C. ; on ne vit se dégager de vapeurs nitreuses des amorces que 48 heures après, et de la gélatine, seulement au bout de 8 jours de chauf-

fage. Les nouveaux produits présentent donc plus de sécurité que la dynamite ordinaire, et cela est aussi vrai pour la gélatine explosive que pour l'amorce destinée à lui faire faire explosion, cette amorce ne présentant pas plus d'inconvénient que l'ancienne.

Quoi qu'il en soit, les amorces ont toujours eu le privilège de causer des appréhensions irréfléchies. Aujourd'hui, des expériences récentes de M. Nobel ont démontré que diverses amorces peuvent être substituées à la nitrohydrocellulose saturée de nitroglycérine, pour obtenir l'explosion parfaite de la gélatine sans camphre.

En outre cet ingénieur est parvenu dans ces derniers temps à remplacer la capsule au fulminate, dont l'explosion ne produit aucun gaz utile, par une nouvelle en poudre comprimée contenant une petite quantité de dynamite spéciale. Ces mêmes amorces peuvent également remplacer avec avantage la poudre vive utilisée à la place des capsules au fulminate dans certaines contrées comme la Suède et la Norwège.

En résumé, avec la dynamite-gomme, il faut dans tous les cas, pour assurer l'explosion, faire usage d'une cartouche-amorce d'une composition spéciale, plus sensible à l'impulsion initiale due à la capsule ou à la nouvelle amorce Nobel; sinon, on est exposé à ne pas avoir une détonation complète. Un bon amorçage et un bourrage soigneusement fait avec le bourroir en bois augmentent beaucoup les effets produits par la gomme [1].

VI

Action de l'eau.

L'action de l'eau était également très intéressante à observer; elle joue un rôle capital au point de vue des transports, surtout militaires, et chacun sait que le fulmicoton, ce grand rival aujourd'hui vaincu de la dynamite, peut, quand il est comprimé suivant le système Abel, absorber de 15 à 20 pour 100 d'eau. Il devient alors maniable et transportable sans le moindre danger, quoiqu'il n'ait rien perdu de ses qualités explosives, et qu'il puisse encore facilement détoner.

Mais, d'un autre côté, le fulmicoton humide laissé dans l'eau s'en

1. Paul Barbe : *Manuel du Mineur*. Emploi de la dynamite.

imprègne complètement, et son explosion devient impossible ; il est en outre assez difficile de maintenir ce corps au degré d'humidité convenable.

Or, la gélatine, avec ou sans camphre, n'est pas altérée par l'eau. Par un séjour prolongé dans ce liquide, elle se recouvre simplement d'une couche mince, blanchâtre, d'apparence laiteuse, sans que son poids ait sensiblement augmenté. On lui fait reprendre son aspect ordinaire en l'exposant à l'air ; on constate seulement alors que la masse a perdu un peu de son poids, l'explosif ayant cédé une petite quantité de sa matière à l'eau qui l'environnait.

En résumé, l'action de l'eau ne se fait sentir qu'à la surface ; après 48 heures d'immersion on constate la présence d'une pellicule blanche, opaque, de 1/2 millimètre d'épaisseur ; la gélatine s'est imprégnée d'eau sur cette profondeur, tout en laissant dissoudre dans l'eau du bain la très petite quantité de sa matière suffisant pour saturer le liquide.

Après séchage à l'air on constate que l'explosif ne présente aucune exsudation et n'a rien perdu de sa force ; ce sont là des propriétés précieuses, quand on songe à la façon dont les explosifs en général et même la dynamite ordinaire redoutent l'humidité.

On peut donc conserver et transporter facilement la dynamite-gomme sous l'eau ; on supprime ainsi toutes les chances d'incendie.

VII

Effets du froid.

Malheureusement, pas plus que la dynamite ordinaire, la gélatine n'échappe à l'action du froid. Avec ou sans camphre, elle résiste cependant mieux que la nitroglycérine ou la dynamite normale à la gelée ; mais son état physique gélatineux a une telle influence sur son insensibilité explosive qu'elle devient beaucoup plus sensible aux chocs quand elle est gelée, ce qui a lieu vers + 6°.

Elle dégèle aussi beaucoup plus facilement que la dynamite et sans trace d'exsudation.

La congélation, dans tous les cas, ne diminue en rien la force de l'explosif, et, quoiqu'elle lui rende un peu de sensibilité, il n'en pré-

sente pas moins contre le choc des balles, par exemple, autant de résistance à l'explosion que le gun-cotton humide, et par conséquent beaucoup plus que la dynamite ordinaire.

La méthode générale pour dégeler les dynamites consiste à les chauffer au bain-marie dans des marmites spéciales très simples entièrement en zinc, en ayant bien soin de ne pas défaire les cartouches. Lorsqu'on a une grande quantité de gomme ou de dynamite à dégeler à la fois, et qu'il faut faire face aux besoins de chantiers importants, on peut, comme l'a fait M. l'ingénieur Rutimann chargé d'une des plus importantes entreprises du Gothard, construire une guérite en bois à double paroi et dont l'intervalle est garni d'un remplissage en sciure de bois; le fond de la guérite est rempli de fumier qu'on renouvelle de temps en temps. Au-dessus se trouvent placées des claies recouvertes d'étoffe sur laquelle on place les cartouches libres ou en paquets. La chaleur du fumier est généralement suffisante pour dégeler les explosifs ; en cas d'insuffisance, ce qui n'arrive que par les froids exceptionnels, on noie dans la masse du fumier quelques bouillottes d'eau chaude analogues à celles des chemins de fer.

Avant de réparer les joints des marmites en zinc servant d'appareils à dégeler, comme ils peuvent toujours recéler quelques parcelles de dynamite, il faut avoir soin de bien les laver avec un mélange d'alcool et d'éther.

Notons enfin qu'il est toujours imprudent d'abandonner des cartouches dans le voisinage de poêles, de chaudières, de conduites de vapeur, etc[1].

VIII

Force d'explosion. — Comparaison avec d'autres explosifs.

Le fait saillant que nous devons avancer en tête de ce chapitre est le suivant : la dynamite-gomme est plus puissante non seulement que la dynamite n° 1, mais que la nitroglycérine elle-même. Expliquons ce phénomène qui peut paraître singulier au premier abord.

La glycérine a pour formule $C^6 H^8 O^6$ ou $C^6 H^2 (H^2 O^2)^3$; la nitrogly-

1. Paul Barbe : *la dynamite et l'électricité.*

cérine, où l'eau a été remplacée par l'acide azotique monohydraté, s'écrit $C^6 H^2 (AzO^5, HO)^3$. Or, en faisant explosion, voici ce que donne cette dernière :

$$C^6 H^2 (AzO^5, HO)^3 = 6 CO^2 + 5 HO + 3 Az + O$$

Il reste donc à l'état libre un équivalent d'oxygène non utilisé. Avec la gomme, les 7 à 8 pour 100 de coton-poudre ajoutés ne sont certainement pas plus forts que la nitroglycérine dont ils tiennent la place, mais ils apportent deux éléments combustibles, le carbone et l'hydrogène qui s'emparent de cet oxygène libre ; cette combinaison chimique dégage de la chaleur et produit par conséquent du travail.

Ce phénomène avait été déjà constaté avec la dynamite à la cellulose, qui est environ de 1/8 plus forte que la dynamite n° 1. Au lieu d'un corps siliceux, inerte, qui absorbe une quantité notable de chaleur pour être porté à la température du mélange, la cellulose-dynamite apporte un absorbant combustible qui s'empare, comme nous venons de le dire, de l'oxygène resté libre.

C'est ce qui explique pourquoi la dynamite n° 1 à 75 pour 100 de nitroglycérine est loin de représenter les 3/4 de la force de ce liquide ; elle en représente à peine la moitié.

D'après M. Berthelot, on sait en effet que l'effet absolu d'un explosif est généralement proportionnel :

1° A la quantité de gaz développé ;

2° A la quantité de chaleur que ces gaz reçoivent.

La dynamite ne produira donc que les 3/4 des gaz donnés par le même poids de nitroglycérine, et les 3/4 de la chaleur qu'aurait produite la nitroglycérine pure. En outre, cette dernière sera employée à chauffer 3/4 de gaz et 1/4 de silice ; les gaz ne recevront donc que les 3/4 de la chaleur produite par la dynamite, et les 3/4 des 3/4 de celle qui aurait été fournie par le même poids de nitroglycérine pure, en admettant, ce qui est sensiblement exact, que la chaleur spécifique soit la même pour la silice que pour les gaz comprimés.

La dynamite ne produira alors que les $3/4 \times 3/4 \times 3/4$ de l'effet de la nitroglycérine pure ou $\frac{27}{64}$, c'est-à-dire moins de 1/2[1].

La dynamite-gomme paraîtrait donc être deux fois plus forte que la

1. M. Brüll : Congrès du Génie civil à l'Exposition Universelle de 1878.

dynamite ordinaire; en réalité, dans la pratique elle ne produit que moitié en plus dans les roches de moyenne dureté; dans les roches très dures, elle produit bien réellement un effet utile double.

Mais, ce corps n'est pas aussi brisant que la dynamite n° 1; il vaut moins qu'elle à l'air libre, à moins qu'on n'ait recours à une amorce puissante; il faut autant que possible qu'il y ait bourrage et avec la gomme, on peut avantageusement employer l'eau à cet effet.

Or, la dynamite à poids égal produit un effet utile double de celui de la poudre ordinaire; on peut donc affirmer que la gomme a sur la dynamite la même supériorité que celle-ci sur la poudre.

En lui faisant faire explosion dans des blocs de plomb, comme cela se pratique d'ordinaire pour comparer les explosifs de même nature entre eux, et, en admettant, ce qui est sensiblement vrai, que le volume des chambres obtenues est proportionnel aux puissances d'explosion, on voit que la gomme donne un volume de chambre supérieur de 50 pour 100 à celui de la dynamite normale ordinaire.

Cette méthode d'expérience fut imaginée par notre collègue, M. Colladon, à propos de l'emploi de la gomme au tunnel du Saint-Gothard. Deux cubes de plomb de $0^m,20$ de côté furent percés d'un trou de $0^m,11$ de long et de $0^m,012$ de diamètre. On chargea l'un d'eux de 10 gr. de dynamite n° 1 et l'autre de 10 gr. de gélatine; le bourrage fut fait à l'eau et on alluma les charges.

On répéta plusieurs fois l'expérience qui fut décisive; la cavité en forme de poire déterminée par la gomme avait 450 centimètres cubes, tandis que celle due à la dynamite n'avait que 300 centimètres cubes, c'est-à-dire moitié en moins.

Mais à côté de son effet plus puissant, la gomme procure une économie de main-d'œuvre considérable par suite du nombre et du diamètre des trous à percer, qui sont beaucoup plus faibles qu'avec les autres explosifs pour arriver au même résultat.

Pour bien se rendre compte des effets comparatifs produits par la dynamite ordinaire, la poudre et la gélatine, nous donnons le tableau suivant qui résume les résultats obtenus dans le percement du tunnel du Saint-Gothard.

	Poudre noire.	Dynamite n° 1.	Dynamite-gomme.
Nombre de trous	80	24	12 à 16
Profondeur des trous .	$0^m,70$ à $0^m,90$	$1^m,20$ à $1^m,60$	$1^m,20$ à $1^m,50$
Diamètre des trous .	$0^m,040$ à $0^m,070$	$0^m,025$	$0^m,020$
Poids de la charge pour 1 volée	34 kil.	16 à 20 kil.	10 à 14 kil.

Pour comparer la dynamite-gomme au coton-poudre, remarquons que la densité de ce dernier comprimé étant 1 environ, quand on y ajoute 15 pour 100 d'eau son volume reste constant, mais sa densité s'élève à 1,16. A cet état, sa force à poids égal est sensiblement inférieure à celle de la dynamite ordinaire.

La gélatine a donc à poids égal au moins 50 pour 100 de force de plus que le fulmicoton humide, et à volume égal 70 pour 100, sa densité étant 1,60.

Voici d'ailleurs un autre tableau dressé par M. Mac-Roberts et qui résume les puissances relatives des explosifs les plus couramment employés, la gomme étant prise pour unité.

Pour produire un même effet, M. Mac-Roberts a trouvé qu'il fallait un poids :

1 de dynamite-gomme ;
1,10 de nitroglycérine ;
1,50 de dynamite n° 1 ;
2,15 de — n°s 2 et 3
4,50 de poudre noire ordinaire.

Il faut bien remarquer, à côté de cette question de poids employé, celle du volume occupé qui est en raison inverse de la densité ; il en est par conséquent de même des trous à forer pour faire usage de l'explosif, et, sous ce rapport, l'avantage reste encore à la gomme.

Voici en effet les différentes densités de ces explosifs :

Poudre ordinaire.	0,90	à	1
Dynamites n°s 2 et 3	1,45	à	1,55
— n° 1	1,55	à	1,60
Nitroglycérine, dynamite-gomme. . .	1,58	à	1,60

On peut donc par l'emploi de la gélatine supprimer une importante partie de la main-d'œuvre, et, quoique la gomme coûte plus cher que la dynamite, nous pensons qu'il y a tout intérêt à faire à l'avance un léger sacrifice qui se retrouve bientôt largement racheté par tous les avantages qu'on retire de l'emploi de l'explosif le plus fort. Mais il faut en outre bien remarquer que si la gomme coûte actuellement 8 francs le kilog. alors que la dynamite n'en coûte que 6, l'effet de la première est de moitié supérieur à celui de la seconde. Il en résulte que les prix d'achat des deux explosifs, indépendamment de l'écono-

mie résultant du forage des trous, sont entre eux comme 16 est à 18, c'est-à-dire qu'en somme la gomme revient sensiblement moins cher.

On avait déjà constaté, dans ces dernières années, que l'usage de la dynamite ordinaire permettait de réaliser en moyenne une économie de 20 à 40 pour 100 sur la main-d'œuvre et de 15 à 25 pour 100 sur le temps, quand on emploie la poudre.

On commence à être également fixé sur les chiffres correspondants pour la gomme; d'après tout ce qui précède, on peut facilement conclure *à priori* qu'ils seront beaucoup plus importants.

Enfin, dans l'exploitation de certains matériaux à ménager comme l'ardoise, la pierre de taille, la houille, où il faut éviter la production de menus, la gomme rendra de grands services puisqu'elle permet de diminuer considérablement les dimensions et le nombre des trous de mine.

IX

Expériences justificatives. — Documents divers.

Voici un essai auquel assista notre collègue, M. Paul Barbe, associé de M. Nobel, cette année même; dans le travail d'un tunnel à la dynamite, aux fleurets de $0^m,27$ à $0^m,28$ on en substitua de $0^m,15$ à $0^m,17$; les trous de mine au lieu de $0^m,90$ à $1^m,10$ de profondeur n'eurent plus que $0^m,60$ à $0^m,80$, et on remplaça la dynamite par la gomme explosive. Au bout de 15 jours en constata une économie de 20 pour 100 dans la main-d'œuvre et une augmentation de 15 pour 100 dans la rapidité d'avancement du travail. On avait en outre réussi à supprimer tout le travail à la masse couple.

M. Leclaire, dans des expériences faites au puits Jules Chazot des mines de Blanzy sur un banc de grès massif, constata que les coups de fond nécessitant une charge de 600 grammes de dynamite n° 1 n'exigeaient qne 400 grammes de gomme; ou bien là où il fallait 45 coups de dynamite pour produire un certain effet, il n'en fallait que 30 de gélatine.

On répéta l'essai un grand nombre de fois et dans des circonstances

différentes, et M. Leclaire constata toujours que l'effet de la dynamite n'est au maximum que les 2/3 de celui de la gomme [1].

Au point de vue de la sécurité, on contrôla qu'une capsule chargée de 1 gramme de fulminate placée au centre d'une cartouche de gomme n'en détermine pas l'explosion ; une partie de l'explosif brûle et l'autre est projetée. Une parcelle de gomme placée sur une enclume ne fit point explosion sous le choc du marteau comme la dynamite ordinaire.

Aux mines de Vialas (Lozère), des essais exécutés en novembre 1879 devant M. Brüll, vice-président de notre Société, corroborèrent complètement les résultats précédents.

En Silésie, aux mines royales de plomb argentifère de Tarnowitz, on fit l'essai de la gomme dans des roches de dolomie très compactes, et les résultats furent particulièrement satisfaisants; on trouva que 3 de gélatine peuvent remplacer 5 de dynamite. Les ouvriers n'étaient pas fatigués par les gaz de l'explosion, et ce fait fut d'autant plus apprécié que, quelques jours auparavant, on avait dû cesser les expériences faites avec du fulmicoton comprimé qui gênait les ouvriers à cause de l'oxyde de carbone qu'il dégage en détonant.

Aux mines de basalte de Hurbach près Siegen, on vérifia encore que 3 trous de mine chargés de 200 grammes de gomme font le travail de 5 chargés de 213 grammes de dynamite.

A Friedrichsegen près d'Oberlanstein, on fit partir les coups à l'électricité ; on arriva à des résultats encore plus remarquables : $2^k,039$ de gélatine et 14 capsules électriques produisirent le même effet utile que $5^k,546$ de dynamite à 78 pour 100 et 18 capsules électriques.

La ville de Stockholm, sous la direction de l'ingénieur Lilienberg, employa également la gomme explosive dans des travaux exécutés dans le granit. On arriva à conclure que la substitution de la gélatine à la dynamite ordinaire permettait de réaliser une économie de 20 pour 100 sur la matière explosive et de 15 pour 100 sur l'ensemble des dépenses [2].

Enfin, nous terminerons en donnant quelques chiffres relatifs au tunnel du Saint-Gothard qui, comme on sait, a été le grand chantier d'essai des explosifs, et en particulier de la dynamite-gomme.

Ainsi, avec la dynamite ordinaire, on obtenait les résultats suivants :

1. *Bulletin de l'Industrie minérale de Saint-Étienne*, mai 1880.
2. Paul Barbe : *Manuel du Mineur*.

Côté Airolo : 1° *Avancement.*

L'avancement moyen journalier était de $2^m,55$ du mois d'août au mois de novembre 1879, période pendant laquelle furent faits les essais. Le mètre d'avancement correspondant à $6^{m3},20$ et à $26^k,56$ de dynamite employée, chaque mètre cube abattu a exigé $4^k,28$ d'explosif.

2° *Abatage.*

La moyenne journalière pendant la même période était de $3^m,79$ d'avancement à l'abatage. La dynamite employée, $14^k,48$ correspondant à 7 mètres cubes, soit 2 kilogr. environ par mètre cube abattu.

Voici maintenant les résultats comparatifs pour la gélatine :

Côté Airolo : 1° *Avancement.*

Pendant les mois de janvier, février et mars 1880, l'avancement moyen journalier a été de $2^m,76$ nécessitant $16^k,68$ de gélatine et $1^k,90$ d'amorces explosives, soit par mètre cube $2^k,50$ de gélatine et $0^k,300$ d'amorces.

2° *Abatage.*

Les essais faits pendant les deux mois de février et mars donnèrent une moyenne journalière de $4^m,57$ avec une dépense de $5^k,96$ de gomme et $1^k,18$ d'amorces explosives.

Par mètre cube on employa donc $0^k,85$ de gomme et $0^k,17$ d'amorces.

Ces chiffres sont éloquents par eux-mêmes et nous dispensent de tout commentaire.

C'est à la suite de ces essais que M. Bossi, ingénieur en chef et directeur de l'entreprise du Gothard, donnait à M. Nobel le certificat suivant :

« Je soussigné, ingénieur-directeur de l'entreprise du grand tunnel « du Gothard, certifie que nous employons la gélatine explosive de « Nobel depuis environ deux ans.

« Cet explosif, par sa consistance et sa composition, offre dans son « transport et son emploi, beaucoup plus de sécurité que la dynamite « ordinaire à la gühr; jamais la nitroglycérine ne peut en exsuder, « même si les cartouches viennent à être mouillées par accident,

« tandis que la dynamite ordinaire mise dans l'eau, laisse au bout de « quelques minutes exsuder toute la nitroglycérine qu'elle contient.

« La gélatine est moins sensible au choc que la dynamite; aussi « pour obtenir sûrement l'explosion de ce corps, nous sommes obligés « de nous servir de cartouches-amorces, les capsules à la dynamite « ordinaire n'étant pas assez fortes.

« La gélatine explosive étant plus puissante que la dynamite, l'exé« cution des travaux se fait beaucoup plus vite.

Airolo, le 2 mars 1880.

Signé : Bossi. »

X

Conclusion.

Nous ignorons si la dynamite-gomme sera le dernier mot des explosifs; nous ne le pensons pas, étant donné le génie inventif de M. Nobel qui, nous le savons, est constamment à la recherche et nous surprendra peut-être encore demain par quelque étonnante découverte.

Mais nous pensons que les Ingénieurs et Industriels qui ont à faire usage de ces matières, doivent payer un large tribut de reconnaissance à ce savant. Grâce à lui, en effet, ils peuvent réaliser dans la conduite des travaux non seulement des économies considérables de temps et d'argent, mais surtout des économies de vies humaines; et, sous ce dernier rapport, l'invention de la gomme explosive peut être classée parmi celles qui rendent le plus de services à l'humanité, car elle permet d'épargner d'une façon presque absolue la vie des ouvriers, en supprimant complètement ce fantôme terrible, impossible à chasser jusqu'à ce jour, et qu'on appelle les explosions spontanées.

VIDANGES ET ENGRAIS

ASSAINISSEMENT ET FERTILISATION

Par M. Léon FAURE BEAULIEU.

SOMMAIRE. — **Différents systèmes de vidanges dans les villes.** — Entraînement par les égouts. — Système diviseur. — Fosses étanches. — Fosses mobiles.

Extraction des vidanges. — Pompes à bras. — Brûleurs, systèmes de désinfection. — Système atmosphérique. — Vidange de jour.

Traitement et utilisation des vidanges. — Irrigation et épuration par le sol. — Séchage à l'air libre. — Procédé Johnson. — Procédé Gautier et Guéroult. — Procédé Cavalier, de Mazaucourt. — Procédé Hennebute et de Vauréal. — Procédé Coquerel. — Procédé Collet. — Four Czechowicz. — Four Firmann. — Système Farquhar et Oldham. — Appareil Piquemal.

Fabrication du sulfate d'ammoniaque. — Appareil Figuera. — Appareil Marguerite et Sourdeval. — Appareil Chevalet. — Appareil Lair. — Appareil Kuentz. — Appareil Hennebute et de Vauréal.

Conclusions.

VIDANGES ET ENGRAIS

DIFFÉRENTS SYSTÈMES DE VIDANGES DANS LES VILLES.

La question des vidanges dans les villes est devenue, avec tous les progrès, une des principales préoccupations. Nous avons vu l'émotion causée dans la population parisienne par l'affaire de l'usine de Nanterre, sa fermeture obtenue après des pétitions nombreuses des communes voisines. Récemment les odeurs nauséabondes qui se sont répandues pendant les grandes chaleurs de l'été, ont incommodé un grand nombre de quartiers. Enfin ces jours derniers l'accident du boulevard Rochechouart, survenu dans un égout où l'on avait vidé nuitamment des matières de vidange, a encore retenu l'attention sur cette question de salubrité publique. La Société des Ingénieurs civils ne pouvait pas rester étrangère à cette question toute actuelle, et ce travail n'a pas d'autre but que d'exposer les différents systèmes adoptés aujourd'hui dans les grandes villes et de provoquer ainsi, de la part de nos Collègues compétents, des observations et des discussions intéressantes. Puisse-t-il en ressortir quelque vue nouvelle, quelque solution pratique, pour l'assainissement complet du traitement des vidanges.

Entraînement par les égouts. — A Londres, à Bruxelles, à Berlin et dans beaucoup d'autres villes, notamment en Angleterre, les matières fécales avec toutes les eaux ménagères des habitations sont envoyées directement à l'égout passant dans la rue. On comprend que, pour adopter ce système, les municipalités doivent pourvoir d'abord les villes d'une énorme quantité d'eau pouvant entraîner dans les égouts, sans les y laisser séjourner, les matières solides qui y sont envoyées. Il faut ensuite un réseau d'égouts très développé, à grandes pentes, desservant pour ainsi dire chaque maison et en communication le moins possible avec l'atmosphère. La longueur des grands collecteurs est de 182 kilomètres à Londres, 20 à Paris et 12 à Bruxelles. Mais il faut remarquer qu'à Londres le principe est tout différent du nôtre. Les

égouts sont formés d'immenses tuyaux cylindriques ayant jusqu'à 3 mètres de diamètre ; ils ne sont pas en contact avec l'atmosphère, et presque toute l'eau distribuée passe par l'intérieur des maisons, des water-closet, et va trouver à sa naissance la cause d'infection. Les pentes sont très fortes et obtenues artificiellement sans suivre le relief des terrains ; des machines puissantes, placées dans l'intérieur à différents points de la ville, relèvent les eaux d'égouts à un niveau supérieur et créent ainsi un écoulement forcé. Mais alors la voie publique reçoit peu d'eau et les balayures doivent être enlevées au tombereau. Chez nous, au contraire, presque toute l'eau arrive aux égouts par la voie publique, mieux entretenue, et qui envoie toutes les ordures et les produits du balayage par les bouches d'égouts. Des 350,000 mètres cubes d'eau amenés journellement à Paris, 70,000 mètres cubes seulement passent par les habitations. C'est un chiffre insuffisant, et, comme l'a dit M. de Coëne dans sa lettre lue à la séance du 15 octobre dernier, on se demande si, imitant l'Angleterre, il n'y aurait pas lieu d'*imposer* pour le bien de tous que l'eau coulât abondamment, non seulement dans les cabinets, mais dans toutes les cuisines, etc., et s'il n'y aurait pas lieu d'abaisser considérablement le prix de l'eau qui est à un tarif élevé à Paris.

Ce système de l'entraînement total des vidanges par les égouts est préconisé par un grand nombre d'ingénieurs de la ville et tend, il faut bien le constater, à devenir général. Car le système diviseur, dont nous allons parler, n'est qu'un système mixte, un acheminement vers l'entraînement total par les égouts, suivant la remarque de M. A. Durand-Claye, et adopté transitoirement pour ne pas froisser les habitudes parisiennes. On a commencé ainsi à Bruxelles, en 1857, par envoyer seulement les liquides à l'égout public, qui reçoit aujourd'hui les solides et les liquides sans aucun inconvénient.

Système diviseur. — Le système diviseur consiste, comme chacun le sait, en une tonne mobile ou tinette d'une capacité de 100 à 125 litres, placée dans le sous-sol ou au rez-de-chaussée des habitations. Cette tinette est divisée par un compartiment percé de trous et reçoit toutes les matières fécales provenant des différents étages de la maison. Le liquide s'écoule seul par la paroi percée de trous et par un tuyau de plomb qui va rejoindre le branchement se raccordant à l'égout passant sous la voie publique. Les matières solides restent dans

le premier compartiment de la tinette, et sont enlevées régulièrement de jour ou de nuit par des voitures fermées qui substituent un tonneau vide au tonneau plein.

Comme perfectionnement à ce système, nous pouvons citer comme intéressant l'appareil diviseur instantané, dit *système Tacon*, tel qu'il est appliqué en ce moment à Paris par la Compagnie hygiénique de Vidanges et Engrais (voir fig. 1, planche 15). En principe, les liquides tendent à glisser le long des parois des tuyaux, et surtout si ces tuyaux, au lieu d'être droits, ont plusieurs coudes arrondis rejetant les matières. Les solides, en vertu de leur propre poids, sont projetés vers le milieu du tuyau, et les liquides, glissant le long des parois, sont recueillis dans l'espace annulaire, fermé incomplètement par un cône renversé, et dirigés à l'égout avec les eaux ménagères. La tinette mobile étanche est à double fermeture hydraulique et ne donne aucune odeur. En disposant dans une maison importante trois de ces appareils diviseurs sur le parcours brisé du tuyau de chute, on peut obtenir une séparation plus parfaite qu'avec les systèmes ordinaires. La figure n° 1 indique cette disposition dans une cave en contre-bas de l'égout. Reste à savoir s'il n'y a pas des engorgements fréquents dans l'espace annulaire, et si une grande partie des matières épaisses, demi-solides, n'est pas entraînée avec les liquides.

On peut encore mentionner la tinette filtrante, système Lambert, adoptée par la Compagnie Départementale de Vidanges et Engrais, dans laquelle un rebord annulaire, placé à la partie supérieure, reçoit, par de nombreux trous, le liquide de la tinette et le dirige à l'égout (voir fig. n° 2, pl. 15).

Le système diviseur paraît bien simple ; il permet de n'avoir dessous chaque maison que très peu de matières fécales en décomposition, qui sont d'ailleurs enlevées assez promptement avant grande fermentation. Il est appliqué à Paris, à la cinquième partie des maisons, soit environ 15,000 tuyaux de chute directe à l'égout, et le Conseil municipal, dans sa séance du 23 juin 1880, a décidé d'étendre ce mode de vidange et de le rendre obligatoire. Des crédits importants ont été votés pour augmenter le réseau des égouts, le porter jusque dans les moindres rues et les quartiers éloignés, et des projets sont à l'étude pour augmenter d'un tiers l'eau distribuée journellement à Paris, portant ainsi à près de 500,000 mètres cubes le volume destiné aux égouts. Les propriétaires seront ainsi forcés d'adopter ce système diviseur, en

payant une redevance à la Ville pour chaque tuyau de chute, dès qu'un égout passera devant leur propriété.

Mais il faut remarquer que, dans ce système, la plus grande partie de la vidange passe par l'égout; l'eau, employée en grande abondance dans les water-closet, délaie constamment les matières solides en les entraînant et ne retenant dans la tinette mobile que des papiers et des corps étrangers. Puis, contrairement à l'opinion vulgaire, c'est dans l'urine, dans les liquides des vidanges, que se trouve la plus grande partie des matières azotées, putrides et fermentescibles. Ce système diviseur est donc un écoulement dissimulé, direct et presque total de la vidange à l'égout.

Dans ces conditions n'est-il pas à craindre que les mauvaises odeurs, chassées des maisons particulières, ne se réfugient dans les égouts actuels pour se répandre ensuite dans l'atmosphère par les regards et les ouvertures sur les voies publiques? C'est pourquoi il sera nécessaire de mettre des fermetures hydrauliques à toutes les bouches d'égouts et à tous les regards. La pente dans tous les égouts sera-t-elle ensuite assez forte pour entraîner l'augmentation considérable de matières solides, qui seront déversées journellement quand le nouveau projet sera appliqué entièrement? Le système de curage par bateau-vanne ou par wagonnet, employé aujourd'hui, sera sans doute insuffisant, et certains égouts seront probablement trop faibles pour recevoir une telle augmentation courante de débit. Dans tous les cas, il y aura des dépôts fréquents sur les bords de matières fécales solides et il faudra une ventilation constante pour permettre aux ouvriers de séjourner dans les égouts pour les nettoyer. Toutes ces questions ont été étudiées par les ingénieurs de la Ville depuis longtemps, et nous souhaitons que toutes les objections aient été prévues et résolues. Il ne faudrait pas, après avoir supprimé les fosses fixes, retrouver en partie dans les égouts les inconvénients qu'on y rencontrait.

Fosses étanches. — Le système des fosses étanches est encore le plus répandu actuellement, non seulement à Paris, mais dans la plupart des villes. Les fosses, maçonnées ordinairement en pierres meulières et cimentées, ont une capacité de 25 à 30 mètres cubes. Ce système a l'avantage de ne pas exiger un réseau d'égouts compliqué et onéreux; il ne les encombre pas de matières solides et ne jette pas dans la circulation des liquides en fermentation et pouvant contenir des germes

morbides, causes de nombreuses épidémies, suivant M. Pasteur. De plus, les matières fécales, si riches comme engrais, peuvent être recueillies et traitées entièrement pour être livrées, sans aucune perte, aux agriculteurs.

Mais les inconvénients des fosses fixes sont également très grands. Des infiltrations, provenant du mauvais état de la maçonnerie, peuvent infecter le sous-sol et polluer les eaux souterraines voisines. L'emmagasinage, dessous chaque maison, d'une masse putride en décomposition est une cause grave d'insalubrité, admise par tous les médecins hygiénistes. Par les tuyaux d'évent, exigés par l'Administration pour la ventilation des fosses, et débouchant au-dessus des maisons, on entretient au-dessus des habitations une couche permanente de gaz délétères et nauséabonds, et il suffit d'un changement atmosphérique pour la rabattre vers le sol. L'extraction nocturne des matières par les systèmes défectueux actuels est encore une cause d'insalubrité, sentie malheureusement chaque soir par les promeneurs, et qui infecte souvent tout le quartier où se fait l'opération. Nous verrons plus loin, parmi tous les systèmes proposés, quels seraient ceux qui devraient être encouragés par l'Administration et perfectionnés. Enfin, les nombreux dépôts de vidange, n'observant pas toujours les prescriptions de leur autorisation, forment autour de la ville un réseau d'usines dont les odeurs fétides se répandent au loin.

Fosses mobiles. — Enfin, il y a le système des fosses mobiles, c'est-à-dire des tonneaux recevant et gardant toutes les matières solides et liquides. Ce système est encore appliqué à Paris dans beaucoup d'habitations où il y a impossibilité, pour une cause quelconque, d'établir une fosse fixe étanche. Au point de vue de la salubrité, ce système, s'il était bien établi et un peu perfectionné, serait peut-être le meilleur. Mais on comprendra facilement qu'il doit être coûteux et difficile à appliquer d'une manière générale. Certaines maisons considérables exigeraient un grand nombre de ces tonneaux mobiles devant être vidés quotidiennement ou à peu près. Cependant, la municipalité de Birmingham, imitée par celles de Leeds et de Manchester, après une enquête remarquable sur les eaux d'égouts et les vidanges, a conclu à l'adoption d'un système de fosses mobiles, enlevées fréquemment de nuit et à l'exclusion absolue du déversement des matières de vidange dans les égouts.

Il sera peut-être intéressant d'ajouter à ce propos, à titre de curiosité, qu'en Chine et au Japon les excréments sont déposés par chaque individu dans un vase spécial très bien entretenu. Les latrines n'existent pas, même dans les grandes villes, et les chaises percées font partie indispensable de l'ameublement des chambres à coucher, des trousseaux de noces. Une jarre située dans la cour de la maison reçoit toutes les immondices qui sont enlevées chaque jour et versées, soit immédiatement sur les champs, soit dans des bateaux fermés qui les transportent au loin. (*Rapport adressé par M. Legouet au comité d'hygiène.*)

EXTRACTION DES VIDANGES.

Pompes à bras. — Examinons maintenant les différents procédés adoptés dans les villes pour extraire les vidanges des fosses fixes et pour les conduire loin des habitations.

Encore aujourd'hui la pompe à bras est très employée par la plupart des entrepreneurs et ce procédé primitif remonte cependant pour Paris à l'année 1818. Avant cette époque, le nettoyage des fosses, non étanches généralement, s'opérait avec des seaux à la main servant à emplir des tonnes ou tinettes. On les remplaça plus tard par des tonnes en bois montées sur deux ou quatre roues. Et comme preuve de la lenteur du progrès, si désirable qu'il puisse être, on peut affirmer qu'il existe encore en France un grand nombre de villes, préfectures et sous-préfectures, où l'on se sert des seaux pour la vidange.

Les pompes généralement employées et à bras sont doubles et à soufflets. Les corps de pompe n'ont pas de pistons, mais sont terminés par une enveloppe en cuir souple et la différence de capacité à chaque mouvement des bielles produit l'aspiration et le refoulement du liquide. Mouvement comparable à celui d'un ballon de caoutchouc, placé dans la main, qui projette de l'air ou du liquide quand on le déforme ou quand on le presse et qui en aspire quand on le laisse reprendre sa forme primitive.

D'autres pompes sont encore employées pour les travaux de vidange qui donnent plus ou moins de satisfaction. Nous citerons notamment la pompe Keizer représentée fig. n° 3, pl. 15, en coupe longitudinale et montée sur deux roues. Elle est à simple effet et se compose d'un cylindre

en fonte dont l'axe se confond avec ceux des tuyaux d'aspiration et de refoulement. L'appareil est muni de deux clapets en caoutchouc, l'un fixe et l'autre mobile qui est assemblé sur le piston. Les lèvres de ces clapets sont maintenues écartées à leur base par des armatures en bronze s'arcboutant sur le collier de même métal qui les assujettit sur leur siège. Une simple inspection de la figure montre que les matières aspirées ne subissent aucune contraction, ni aucune déviation dans leur parcours. Il en résulte que cette pompe peut aspirer et laisser passer à travers ses clapets les liquides visqueux et épais, tels que le tout-venant de la vidange, contenant le plus souvent des chiffons, des bouteilles cassées, de la paille, etc... Cet appareil présente, en outre, une particularité assez intéressante et qui consiste en ce que le mécanisme actionnant le piston fonctionne dans l'intérieur de la pompe. La manivelle et la bielle, qui impriment au piston son mouvement de va-et-vient, se meuvent dans deux supports creux formant réservoirs d'air. L'axe sur lequel est calée la manivelle traverse deux presse-étoupes et reçoit son mouvement d'un levier mû à bras. Il n'y a donc aucune communication entre le liquide aspiré et l'air extérieur, et cette pompe est éminemment propre au service de la vidange et présente une supériorité incontestable sur les appareils à soufflets qui se crèvent et donnent lieu à de fréquentes et coûteuses réparations.

Pour des pompes puissantes, analogues à celles employées couramment dans les travaux des vidanges, il serait préférable d'étudier un système à double effet avec un double levier comme dans les pompes à incendie. Nous avons constaté souvent que la manœuvre de cette pompe à levier simple est fatigante et difficile. Le levier double serait un perfectionnement facile à apporter et déjà employé dans un établissement. Quant à la pompe à double effet, nous ne savons pas si l'inventeur s'en est occupé, mais nous croyons ce projet intéressant.

Avec les pompes les plus parfaites on arrive rarement à vider complètement une fosse, surtout si elle n'est pas parfaitement étanche. Il y a presque toujours une certaine quantité des matières solides qu'il faut enlever à la main avec des seaux avant de balayer et de nettoyer la fosse, comme l'exigent les règlements de salubrité.

Brûleurs. Systèmes de désinfection. — En envoyant les matières au moyen d'une pompe quelconque dans une tonne, on déplace l'air emprisonné dans cette tonne, lequel mélangé avec tous les

gaz méphitiques de la vidange sent aussi mauvais que le gaz de la fosse elle-même. C'est pourquoi dans plusieurs grandes villes, et à Paris notamment, on oblige les entrepreneurs se servant de pompes à brûler les gaz chassés des tonnes ou à les désinfecter par un procédé quelconque.

Au-dessus de la tonne se trouve donc un tuyau recourbé en col de cygne de 50 à 60 millimètres de diamètre, laissant dégager les gaz et les amenant au-dessous de la grille d'un petit foyer à coke placé sur la voie publique à côté de la tonne. Un tube de niveau placé sur la circonférence permet de voir quand la tonne est remplie et d'arrêter la pompe. Malgré ces prescriptions on peut malheureusement se rendre compte soi-même que les mauvaises odeurs se répandent encore au dehors et infectent le voisinage. Il arrive souvent, en effet, que le fourneau est allumé seulement d'un côté et que les gaz passent intacts sans être brûlés ou bien qu'on emplit trop la tonne et les matières entrant dans le tuyau des gaz vont éteindre le foyer et se répandre sur le sol.

Et cependant une ordonnance de police prescrit de désinfecter préalablement les matières au moyen d'un agent chimique. Les matières employées le plus ordinairement sont le sulfate de fer, le sulfate de zinc, le saint-Luc ou chlorure de zinc. Mais il arrive le plus souvent que ces désinfectants ne sont pas mis en quantité suffisante et dans tous les cas leur mélange avec les matières est imparfait, car il faudrait opérer un brassage difficile dans la fosse. De plus les sels métalliques employés transforment en sels ammoniacaux fixes le carbonate et le sulfhydrate; il en résulte, comme nous le verrons plus loin, que dans la fabrication du sulfate d'ammoniaque avec les liquides des vidanges, l'ammoniaque se dégage plus difficilement par l'ébullition et exige une plus grande addition de chaux. Les entrepreneurs de vidange ont donc tout intérêt à employer le moins possible de désinfectant qui leur coûte plus ou moins cher et qui nuit à la fabrication de leurs produits ultérieurs.

Les procédés chimiques d'ailleurs n'ont pas donné jusqu'à ce jour des résultats concluants. On ne connaît pas de substance chimique capable d'absorber tous les gaz provenant de la décomposition des matières fécales et dont la science connaît à peine la nature. On y rencontre, en effet, outre l'hydrogène sulfuré, l'hydrogène carboné, le carbonate et le sulfhydrate d'ammoniaque, des combinaisons telles que les sulfures de méthyle et d'éthyle, l'indol, le scatol, et l'indi-

can, etc..., et les cyanures et isocyanures des mêmes séries, substances instables, modifiables, et dont par suite la présence est difficile à constater. (*Rapport du Conseil d'hygiène et de salubrité du département de la Seine.*) L'expérience prouve d'ailleurs que si un composé chimique arrive à absorber quelques-unes de ces substances, d'autres s'échappent dans l'atmosphère et donnent de l'odeur.

Le feu employé pour désinfecter les gaz provenant de la vidange ne donne pas un résultat complet, et d'ailleurs, est-il bien prouvé que les gaz méphitiques soient tous décomposés et transformés par la chaleur? L'expérience ne l'a pas non plus suffisamment démontré. Tout ce qu'on peut dire c'est que ces vapeurs infectes, après avoir traversé une couche de combustible d'une épaisseur suffisante, doivent être dépourvues de tous les germes nuisibles, suivant les travaux de M. Pasteur et, s'ils sentent mauvais, du moins ils ne sont pas la cause de la propagation des épidémies.

Comme le dit M. Chevalet, si compétent en ces matières, dans son *Mémoire sur la vidange des fosses* (Lyon, 1880). « Voilà cent ans et plus qu'on réglemente le service des vidanges et, si l'on veut réfléchir sérieusement, il faut avouer que ce service ne s'est guère amélioré ni par l'emploi des tonnes en tôle, ni par les pompes les plus perfectionnées, ni par les brûlages de gaz. D'où vient donc qu'on n'obtient pas un service meilleur? La cause, on peut le dire, réside tout entière dans l'obligation de faire la vidange la nuit. En effet, comment veut-on qu'un travail de nuit soit bien fait; à ce moment tout le monde est couché ou à peu près, et comme cette opération est sale en elle-même, sent mauvais, on en a une telle répugnance que personne ne veut la voir. Le personnel chargé de la faire ne peut pas être bien recruté à cause de la nature même du travail; l'entrepreneur n'est pas là et ne peut pas passer, du reste, toutes ses nuits à surveiller ses hommes. Aussi qu'en résulte-t-il? c'est que la vidange est faite, disons le mot, salement et sans observer toutes les prescriptions contenues dans les règlements.

« Il n'en serait pas de même si dans toutes les villes on autorisait la vidange de jour et, même mieux, si on obligeait à la faire de jour. En effet, à ce moment tout le monde surveille et tout le monde est intéressé à surveiller: le propriétaire ou les locataires de la maison où se fait l'opération, l'entrepreneur de vidange, le public qui passe dans la rue et enfin la police municipale. — Toutes sortes d'avantages en

découlent; vidange de la fosse le plus proprement possible, plus d'odeurs nauséabondes, plus de bruit la nuit, emploi d'un personnel plus convenable, d'un matériel plus propre et mieux entretenu.

« Est-il possible d'autoriser la vidange de jour avec les pompes et les tonnes en bois ou en tôle? Il faut avouer que non; aussi plusieurs municipalités ont-elles pris une mesure radicale, c'est de n'autoriser que la vidange de jour par le système atmosphérique. C'est le seul, en effet, qui soit vraiment propre et qui ne donne pas lieu à des dégagements d'odeurs désagréables. Je puis citer à cet égard Bordeaux, qui a pris son arrêté il y a six ans. Plusieurs villes ont, il est vrai, autorisé la la vidange de jour, mais n'en ont pas fait une obligation. On ne peut que le regretter. »

Nous sommes ainsi conduits naturellement à parler des systèmes atmosphériques.

Différents systèmes atmosphériques. — Comme chacun le sait, le système atmosphérique consiste à faire le vide dans des tonnes qui se remplissent ensuite près des fosses par la simple pression barométrique. On comprend que le vide dans les tonnes peut être fait préalablement à l'usine ou bien sur place par une machine.

En faisant la comparaison de ces deux systèmes, on peut voir d'abord que le vide préalable à l'usine est bien préférable, à beaucoup de points de vue, s'il n'est pas le plus économique. En effet, le vide fait sur place exige, soit une pompe mue par une locomobile, soit une chaudière avec un injecteur Kœrting ou autre. Ces divers systèmes demandent un foyer, une provision de combustible et d'eau. De plus, le bruit des machines gêne beaucoup les passants et les habitants des maisons voisines du travail. En faisant le vide sur place on est obligé de rejeter dans l'atmosphère l'air infect, extrait de la tonne, et l'on se retrouve en face des inconvénients signalés plus haut avec l'emploi des pompes : difficulté de brûler et de désinfecter complètement les gaz provenant des tonnes.

Avec les tonnes, dans lesquelles le vide a été fait à l'usine, il n'y a plus aucun bruit, aucune odeur possible, puisque la moindre fuite, le moindre contact avec l'air extérieur, des tonnes ou de la conduite, empêche tout travail. Il n'y a plus aucune manipulation dégoûtante; un simple tuyau met la fosse en communication avec la tonne, et cette dernière s'emplit d'elle-même par la manœuvre d'un simple robinet,

sans que la matière puisse jamais avoir aucun contact avec l'atmosphère. Un autre avantage, encore très grand et qui mérite d'être spécialement signalé, réside dans la suppression complète des fraudes consistant à vider la nuit les tonnes dans les égouts ou sur la voie publique. Les tonnes étant en effet obligées de revenir chaque fois à l'usine pour se vider et reprendre du vide, les ouvriers n'ont plus aucun intérêt à répandre des matières en route, et le contrôle devient ainsi très facile. Cette considération seule devrait décider les municipalités à *imposer* le système atmosphérique fait à l'usine pour les extractions de vidange.

Vide sur place. — A Lyon on se sert depuis longtemps de l'appareil hydropneumatique de M. Duvergier, ingénieur-constructeur. (*Voir le* 24ᵉ *volume de la Publication industrielle de M. Armengaud aîné*, *année* 1877.) — C'est une pompe à double effet en bronze, entièrement noyée dans une bâche remplie d'eau, pour éviter les fuites, et montée sur un chariot à quatre roues. Cette pompe, mue par la vapeur, est en communication par un tuyau en caoutchouc avec la tonne à remplir, qui elle-même communique avec la fosse par une autre conduite. Pour une profondeur moyenne de 4^m,50 à 5 mètres au-dessous du sol une dépression de vide de 20 centimètres de mercure est suffisante au début, la fosse étant pleine. On augmente ensuite la dépression jusqu'à 50 centimètres, à mesure que le niveau baisse dans la fosse. On peut ainsi remplir une tonne de 4 mètres cubes en 5 à 6 minutes. Pour des profondeurs exceptionnelles de fosses, 7 à 8 mètres au-dessous du sol, il faut un vide de 65 centimètres, et le remplissage de la tonne se fait en 12 ou 15 minutes. Dans des expériences faites à Lyon, en 1877, avec cet appareil, on a pu extraire une première fois 140 mètres de vidange en deux fosses, en 6 heures; une autre fois, 120 mètres en 10 fosses, en 6 heures. C'est actuellement la Compagnie départementale de Vidanges et Engrais qui exploite ce procédé à Lyon. Une disposition assez heureuse permet de conduire les gaz déplacés par la pompe sous le foyer de la chaudière et un flotteur-avertisseur empêche les matières d'aller du récipient dans le corps de pompe. Cet appareil, bien étudié et pratique, donne une bonne utilisation du travail, mais il a toujours l'inconvénient du bruit et de la fumée de toute locomobile sur la voie publique.

A Paris, la Compagnie Parisienne de Vidanges et Engrais s'est servie dernièrement de l'injecteur Kœrting pour faire le vide sur place. L'injecteur était monté sur une chaudière locomobile à foyer amovible et à retour de flammes de la Société centrale de Construction de machines, de Pantin. Un récipient placé sur le côté de la chaudière reçoit la vapeur à la sortie, la détend et évite ainsi une partie du bruit désagréable du jet de vapeur, puis s'échappe dans la cheminée, entraînant les gaz. Ce système, s'il fait moins de bruit qu'une pompe à vapeur, doit être plus coûteux, si l'on se reporte au travail utile ordinaire des injecteurs, bien inférieur au rendement d'une pompe bien établie et en bon état.

Plusieurs autres systèmes sont actuellement employés à Paris par les différentes entreprises pour l'extraction des vidanges par le système atmosphérique sur place. Nous citerons notamment le système Tallard, qui donne de bons résultats, mais ne diffère pas sensiblement du système exposé plus haut, c'est-à-dire une pompe à vapeur montée sur une locomobile. On y retrouve donc les mêmes inconvénients qui ont été signalés.

Vide fait à l'usine. — Le vide fait d'avance à l'usine dans les tonnes peut être obtenu par différents systèmes. Dans quelques villes de France, et notamment à Paris où ce service fonctionne, dans la banlieue ouest et dans les XVIe et XVIIe arrondissements, la Compagnie générale d'Assainissement et de Fertilisation a employé d'abord à son usine deux pompes pneumatiques à simple effet et accouplées, analogues pour la disposition des clapets d'entrée et de sortie de l'air aux pompes pneumatiques des laboratoires. Ces pompes, installées dans l'usine des Groues, à Nanterre, ont été construites par M. Gabert, de Lyon. Elles ont 25 centimètres de diamètre sur 35 centimètres de course, avec une vitesse de l'arbre de 40 tours par minute. Quand les garnitures en cuir des pistons sont en bon état, on peut faire le vide à 70 centimètres de mercure en 15 ou 18 minutes dans des tonnes de 4^{m},50. Ces pompes ont donné jusqu'à présent de bons résultats, mais dernièrement on a installé dans la même usine une nouvelle paire de pompes plus puissantes, provenant de la maison Crespin, de Paris, et analogues à celles employées par l'Administration des Télégraphes pour le service de son réseau pneumatique. Ces pompes ont des pistons avec garnitures en caout-

chouc (système Giffard), et marchent à 40 tours, avec une course de 35 centimètres ; diamètre, 35 centimètres. On obtient ainsi avec ces pompes un vide de 70 centimètres en 4 à 5 minutes dans une tonne de $4^{m},50$.

Voici d'ailleurs quelques détails sur ce service tel qu'il doit être fait à l'usine : Une machine fixe de 12 chevaux, servant aux différents besoins de l'établissement actionne les deux systèmes de pompes décrites plus haut; une seule étant en service, l'autre servant seulement en cas d'accident ou de réparation de la première. Un grand réservoir cylindrique de 12 mètres cubes, placé au centre d'une cour, est en communication directe avec les pompes, et on y maintient un vide constant de 70 centimètres. Les tonnes venant prendre leur vide ont un accès facile tout autour de ce réservoir ; plusieurs prises avec robinets permettent de le mettre en communication, par un tuyau en caoutchouc, avec chacune des tonnes qui vient se présenter, et 3 à 4 minutes suffisent pour obtenir dans la tonne le degré voulu de 70 centimètres de vide. Le service se fait donc ainsi très rapidement et permet en travail courant, de vider une fosse de 30 mètres cubes en 35 à 40 minutes, si les tonnes se suivent sans interruption, sans arrêt dans leur parcours. On a vidé ainsi, en septembre dernier, les fosses de la mairie de Courbevoie, en présence du maire, du conseil municipal, d'un inspecteur de la salubrité, et l'on a constaté que les tonnes s'emplissaient en 3 minutes sans aucune odeur. La désinfection de la fosse avait été opérée avec de l'acide thymique.

A Avignon, on a appliqué avec succès, paraît-il, la vapeur directe pour faire le vide dans les tonnes. On injecte de la vapeur à 3 ou 4 atmosphères dans la tonne, et, quand on est certain que tout l'air a été chassé dehors, on ferme les ouvertures d'entrée et de sortie. La seule condensation de la vapeur produit un vide suffisant pour le service des vidanges. Ce procédé doit être prochainement expérimenté à Paris.

En principe on peut faire le vide préalable à l'usine avec n'importe quelle pompe bien étudiée et donnant un bon rendement, même avec un injecteur. Un vide de 70 centimètres de mercure est suffisant, comme il a été dit plus haut, pour la vidange des fosses les plus profondes. Avec les pompes pneumatiques, le calcul indique qu'il faut extraire deux fois et demie le vide utile pour obtenir cette dépression de 70 centimètres de mercure.

En effet, soit : V — volume d'air à expulser du récipient.
v — volume d'air expulsé par tour de pompe.
P — pression initiale ou atmosphérique.
p — pression de manomètre du récipient.
N — nombre de tours nécessaires pour obtenir la pression P.

On a :

$$p = \frac{P\, V n}{(V+v) n}$$

d'où

$$n = \frac{\log. p - \log. P}{\log. V - \log. (V+v)}$$

Connaissant ainsi le nombre de tours nécessaires pour obtenir la pression voulue et la capacité des corps de pompes, on trouve facilement le rapport du volume d'air extrait à celui du récipient.

Des expériences, faites le 17 mars 1880 au poste télégraphique pneumatique de la rue Poliveau, ont donné les résultats indiqués dans le tableau ci-dessous. Les deux pompes pneumatiques débitaient ensemble 290 litres par tour, le vide était fait dans 8 réservoirs de 10 mètres cubes chacun, précédés d'une canalisation de 269 litres.

En appliquant la formule précédente, on a obtenu :

$$n = \frac{\log. p + \bar{3}.1191864}{\bar{1}.9984338}$$

correspondant aux valeurs pratiques suivantes :

DEGRÉ DE VIDE au manomètre.	VALEUR DU VIDE en millimètres de mercure.	VALEUR calculée de n.	VALEUR expérimentale de n.	DIFFÉRENCES.
degrés.	millimètres.	tours.	tours.	tours.
10	660	39	39	»
20	560	85	96	11
30	460	139	160	21
40	360	207	225	17
50	260	298	342	44
60	160	432	514	72
70	60	704	889	185

La différence plus ou moins grande entre la valeur pratique de n et sa valeur théorique dépend uniquement de la pompe et de son bon état

de marche. Un vide de 70 centimètres de mercure doit correspondre pratiquement en moyenne à trois fois et demie le vide utile, c'est-à-dire qu'il faut compter expulser trois fois et demie le volume d'une tonne pour obtenir dans cette tonne une dépression de 70 centimètres de mercure.

Lorsque le vide est fait dans la tonne, elle est amenée le plus près possible de la fosse à extraire, et reliée avec celle-ci par de gros tuyaux en fer galvanisé, en zinc ou en cuivre, assemblés par des joints étanches, et dont l'ensemble s'appelle *colonne*. Tous les joints doivent être parfaitement étanches pour éviter toute rentrée d'air, et nous conseillerons comme le meilleur et le plus rapide le joint Keizer. Les figures n°s 4, 5 et 6, pl. 15, représentent, en élévation et en coupe, les bouts mâle et femelle des tuyaux munis de ces raccords, ainsi que la clef servant à faire leur jonction. Comme on peut le voir, cette jonction s'opère par la pression d'une came agissant sur le rebord du bout mâle, qui vient s'appliquer sur une rondelle en caoutchouc encastrée dans une rainure en queue d'hironde pratiquée dans l'épaisseur du bout femelle. On commence par introduire le rebord du bout mâle dans la gorge demi-circulaire du bout femelle; puis, on saisit, au moyen de la clef, les axes sur lesquels sont fixées excentriquement les cames, et il suffit alors de rabattre la clef sur le bout mâle pour que la jonction se fasse. On obtient ainsi en deux mouvements, très simples et rapides, un joint absolument étanche, et on évite les inconvénients que présentent tous les systèmes à vis.

Quand la colonne est bien établie, on fait plonger son extrémité au fond de la fosse, on ouvre une vanne ou un robinet sous la tonne. La pression atmosphérique agit sur la surface du liquide et oblige les matières, même solides, à passer à travers le tuyau et à se précipiter dans la tonne. On trouve dans les fosses, du sable, des pierres, des chiffons, jusqu'à des bouteilles; or, comme il n'y a ni clapets, ni étranglements, si les tuyaux sont assez gros, rien ne s'oppose au passage de ces matières solides étrangères, et on les retrouve dans les tonnes. Si la fosse est étanche, convenablement établie avec une cuvette, on peut la vider entièrement sans être obligé d'y descendre. La tonne s'emplit presque complètement pour une différence de niveau de 3 à 4 mètres. Si la fosse est trop profonde, la tonne ne s'emplit plus qu'imparfaitement, aux deux tiers et même à la moitié, et il y a ainsi une perte notable. C'est pourquoi nous conseillons d'ajouter au système atmo-

sphérique qui vient d'être décrit complètement, une petite pompe pneumatique à bras, pouvant être manœuvrée sur place et servant seulement lorsque, pour une cause quelconque, profondeur des fosses ou fuites accidentelles, les tonnes seraient insuffisamment pleines. A cette pompe portative, montée sur roue, serait annexé un petit foyer à coke pour brûler les gaz sortant des tonnes, tel qu'il est exigé par les règlements administratifs.

On pourrait rendre encore plus simple la vidange des fosses en posant à demeure un tuyau en fonte d'un gros diamètre, allant du fond de la cuvette de la fosse au bord du trottoir de la rue. Ce tuyau serait fermé par un bouchon à vis, ou un joint Keizer, et enfermé dans une boîte en fonte, analogue aux prises d'eau sous trottoir. Le service de jour se ferait ainsi sans ouverture de la fosse, sans aucun dérangement, sans odeur.

Il paraîtrait que ce système a été établi dans une ville de Hollande et que tous les tuyaux d'aspiration ont été reliés par une conduite centrale, passant dans la rue, avec une pompe puissante installée hors de la ville à l'usine à engrais. C'est un procédé ingénieux, efficace au point de vue de la salubrité, qu'il serait intéressant d'étudier, afin de se rendre compte du coût de l'installation et du fonctionnement.

A propos de ce projet de canalisation souterraine pour le transport des vidanges hors des villes, il peut être intéressant de reproduire le passage suivant d'un mémoire sur les *Odeurs de Paris*, présenté par M. Henri Sainte-Claire-Deville à l'Académie des sciences, dans la séance du 20 septembre 1880. « ... Il n'en est pas de même (dit-il au point de vue de l'innocuité), des odeurs provenant des matières excrémentielles que l'on constate malheureusement à Paris et dans les environs. Elles sont, il est vrai, nauséabondes, ce qui ne les rend pas nécessairement nuisibles ; mais elles peuvent emprunter à la source dont elles proviennent les germes auxquels on attribue aujourd'hui les maladies cholériformes et typhoïdes, que l'on redoute de voir devenir endémiques à Paris, comme elles le sont depuis longtemps dans l'Inde.

« Mon savant et illustre ami, M. Pasteur, nous donnera sans doute, avec des démonstrations rigoureuses, la cause et peut-être les remèdes préventifs de ces redoutables fléaux; mais, dès aujourd'hui, grâce à ses travaux, devenus classiques, nous pouvons fixer les conditions auxquelles il faut soumettre le transport et le traitement des matières

excrémentielles pour qu'elles cessent d'être fétides et ne puissent devenir dangereuses pour la santé publique.

« Il est possible qu'un jour ces matières, reçues dans des vases métalliques, sans avoir jamais de contact avec l'air extérieur, soient transportées sous terre dans des tuyaux métalliques, canalisation aussi gigantesque que celle qui conduit l'eau et le gaz, et dans laquelle on entretiendrait une certaine dépression. Ces matières, reçues dans de grandes vases métalliques, neutralisées ou même acidifiées par des substances appropriées et parfaitement connues, portées à une température égale ou même supérieure à 100 degrés, qui suffit à détruire tous les germes, séchées dans ces appareils, seraient livrées à l'agriculture sans perte d'aucune substance utilisable et sans avoir porté dans l'atmosphère aucune trace de matières odorantes ou nuisibles.

« Toutes ces conditions, conformes aux prescriptions formulées par le Conseil d'hygiène et le Comité consultatif des arts et manufactures, peuvent être réalisées avec les procédés connus ou légèrement perfectionnés. Il reste seulement à savoir si les sommes considérables qu'il faudrait consacrer à cette réalisation seraient en proportion avec les avantages qu'en retirerait l'hygiène publique et la désinfectation absolue des grandes villes. Rien ne dit, par exemple, que l'intérêt du capital ainsi dépensé, si on l'applique à l'amélioration du régime des hôpitaux, à l'assainissement des logements insalubres, etc., ne sauverait pas plus d'habitants de Paris chaque année que les épidémies partielles n'en peuvent faire périr.

« La science peut donc indiquer les solutions absolues, mais c'est aux économistes à décider si leur application est désirable et possible. »

En résumé, quand on sera conduit à admettre des fosses fixes dans les villes, il faudra exiger rigoureusement qu'elles soient parfaitement étanches, afin qu'aucune infiltration ne puisse empester les puits voisins et transporter souvent ainsi les germes de maladies épidémiques. On étudiera ensuite un système d'extraction de ces fosses, tel qu'il n'y ait aucun contact avec l'atmosphère pendant l'opération, soit un système de canalisation souterraine, soit un système atmosphérique avec service de jour, sans être obligé d'ouvrir les fosses et les tonnes ayant pris leur vide préalable à l'usine. Tout le monde pourra ainsi se rendre compte du travail, le surveiller. Aucune matière ne sera jetée dans les égouts ou sur le sol et aucune odeur ne se répandra dans l'atmosphère.

TRAITEMENT ET UTILISATION DES VIDANGES.

Les vidanges amenées hors des villes sont traitées par différents systèmes, et d'abord suivant qu'elles sont mélangées aux eaux d'égouts, aux eaux ménagères, ou extraites séparément, provenant des fosses fixes ou mobiles.

Parlons d'abord de l'utilisation des vidanges mélangées soit partiellement, soit totalement aux eaux d'égout. — En Angleterre la plupart des villes déversent les matières fécales à l'égout avec les eaux ménagères, formant ce qu'on appelle le *sewage*. A Édimbourg, de magnifiques prairies, entourant la ville, reçoivent les eaux d'égout depuis plus d'un siècle et donnent d'excellents résultats. A Londres, de puissantes machines relèvent le sewage et l'amènent par des grands collecteurs près de Barking, à 30 kilomètres de la ville, sur les bords de la Tamise. Un vaste projet avait été étudié et adopté, de diriger ce courant impur par un canal de 70 kilomètres jusqu'aux sables de Maplin, sur la mer de Nord, afin de fertiliser une immense étendue des dunes incultes. D'autres essais de filtration mécanique et d'épuration chimique ont été tentés sans succès. Aujourd'hui une partie seulement du sewage sert à l'irrigation de vastes domaines proches de Barking et spécialement de la ferme de Lodge-Farm, dont les résultats remarquables ont été plusieurs fois cités. La plus grande partie des eaux d'égout non utilisées est déversée dans la Tamise et la marée montante ramène souvent des eaux souillées jusqu'à Londres. — A Bruxelles, à Berlin, à Vienne on utilise également les eaux d'égout pour l'irrigation de vastes terrains situés hors des villes. — En Italie, les marcites de Milan, vastes prairies permanentes de près de 1000 hectares sont réputées depuis très longtemps.

Enfin à Paris, le même principe a été appliqué à la presqu'île de Gennevilliers. Depuis plusieurs années une partie des eaux d'égout, dont le volume journalier total est de 260 000 mètres cubes, est relevée à l'usine de Clichy et distribuée à différents agriculteurs et maraîchers de la commune de Gennevilliers. De grands travaux de canalisation et de drainage ont été faits pour la distribution de ces eaux et aujourd'hui le succès peut être considéré comme certain. Les terrains naguère incultes de cette presqu'île ont triplé et quadruplé de valeur, produisent

des légumes appréciés sur le marché de Paris et qui ne le cèdent en rien aux produits des autres maraîchers. L'eau retourne à la Seine complètement limpide et pure, contenant à peine $0^k,002$ d'azote par mètre cube. Mais pour s'assurer une plus vaste étendue de terrain on va prochainement étendre aux grandes plaines du domaine d'Achères, au milieu de la forêt de Saint-Germain, les travaux d'épuration qui ont donné toute satisfaction aux ingénieurs de la Ville. Et, à ce propos, il est utile de faire remarquer qu'à Paris on a surtout en vue l'épuration par le sol des eaux d'égout plutôt que leur utilisation complète au point de vue agricole. Ce sont deux questions très distinctes, comme l'a bien expliqué M. Schlœsing. L'irrigation ou utilisation complète exige une superficie considérable, un hectare de culture ne pouvant consommer que 4000 à 5000 mètres cubes par an. Par l'épuration, au contraire, on peut arriver à faire absorber au sol 50 000 mètres cubes par hectare et par an comme à Gennevilliers. Il faut donc cinq fois plus d'étendue pour l'utilisation complète que pour l'épuration, et on comprendra facilement que, si désirable que soit la solution de rendre à l'agriculture tous les produits utilisables, le projet ne soit pas toujours applicable près des grandes agglomérations où les terrains sont chers. C'est ce qui a fait choisir pour la ville de Paris le système de l'épuration, combiné cependant avec une utilisation méthodique. L'épuration par le sol est un phénomène de combustion lente, continue, en même temps qu'une filtration, mais ne peut donner de bons résultats que dans des terrains perméables, de nature sableuse, car il est nécessaire que l'air puisse pénétrer dans le sol, le baigner et transformer en azotates l'azote des matières organiques.

Il est inutile de s'appesantir plus longtemps sur ces procédés qui ont fait l'objet d'études très complètes dans tous les pays et que M. Frankland a répandus en Angleterre. M. A. Durand-Claye a développé souvent ces mêmes idées dans plusieurs ouvrages importants et les a exposées, en 1878, au Congrès du Génie civil. Les projets adoptés par le Conseil municipal, pour étendre les travaux actuels, pourront donner de bons résultats, mais à la condition expresse d'augmenter la distribution actuelle de l'eau potable et de la porter à 500 000 mètres cubes par jour, en même temps que le réseau des égouts sera complété et amélioré, comme il a été indiqué précédemment.

Nous arrivons maintenant au traitement des vidanges provenant des fosses fixes ou mobiles et conduites hors des villes. — En Flandre, les

matières fécales sont recueillies avec soin par les cultivateurs et répandues sur le sol à l'état vert sous le nom d'engrais flamand. La plupart des villes n'ont pas d'entreprise de vidange ; les cultivateurs eux-mêmes enlèvent gratuitement les matières des fosses et les amènent sur leurs cultures dans de grandes citernes voûtées et closes. Ils les répandent ensuite sur le sol avec des tonneaux roulants aux époques convenables et l'on peut se douter des émanations qui infectent alors le voisinage.

A Paris on extrait journellement environ 1650 mètres cubes de vidange, dont 300 mètres cubes provenant de tinettes mobiles. La Compagnie Lesage et la Compagnie Parisienne de Vidanges et Engrais, ont sur la Seine des bateaux en tôle, hermétiquement fermés, dans lesquels viennent chaque nuit se vider les tonnes qu'on voit et qu'on entend circuler dans tous les quartiers. Ces bateaux sont ensuite remorqués jusqu'aux principales usines, savoir : à Billancourt, à Aubervilliers, et à Choisy le Roi appartenant à la Compagnie Lesage et à Nanterre avant la fermeture de l'usine appartenant à la Compagnie Parisienne. Des pompes, mues par la vapeur, aspirent les matières dans les bateaux et les refoulent par des conduits souterrains dans de grands bassins recouverts d'une toiture en tuile. Depuis la fermeture de l'usine de Nanterre la Compagnie Parisienne a obtenu, à titre provisoire, de se servir de la voirie de Bondy pour y traiter ses vidanges. Les deux puissantes Compagnies citées plus haut traitent à elles seules plus de la moitié des vidanges de Paris, les autres entreprises, moins importantes, envoient directement vider leurs tonnes dans les bassins de leurs dépotoirs qui, tous, il faut bien le constater, ne sont pas encore couverts.

La matière ainsi amenée est appelée *tout-venant* et contient de 85 à 95 °/₀ de liquide. On la laisse reposer quelque temps dans ces bassins; le liquide qui surnage ou *eau-vanne* entre en fermentation, par suite de la décomposition des sels d'urée en sels ammoniacaux, et il est dirigé par décantation, dans d'autres bassins spéciaux où il doit servir à la fabrication du sulfate d'ammoniaque et des sels ammoniacaux que nous examinerons plus loin. La matière épaisse, déposée au fond des bassins, forme une boue visqueuse très difficile et très longue à dessécher et forme la base de la poudrette. — Autrefois, et maintenant encore dans beaucoup d'établissements, cette matière était abandonnée à l'air libre et ne se desséchait qu'après plusieurs années et avec des manipulations difficiles. Il en résultait alors des émanations constantes dans le voisinage, s'étendant même fort loin sous l'action du vent, et

une déperdition très sensible du titre d'azote dans l'engrais. Telle matière dosant 2 1/2 à 3 pour 100 d'azote, au début, n'en renferme plus guère que 1 1/2 pour 100 après une exposition à l'air de deux ou trois années. Encore est-on obligé le plus souvent de mélanger ces matières avec un corps pulvérulent, des cendres, du terreau, pour hâter et favoriser la dessiccation. Il y a donc un grand intérêt, au point de vue de la richesse en azote dans l'engrais à produire, d'opérer une dessiccation rapide de ces dépôts.

A Billancourt, à Aubervilliers et à Nanterre les matières déposées au fond des bassins de décantation sont répandues sur des plaques de fonte dans une série de carneaux et chauffées par les chaleurs perdues des eaux-vannes ayant servi à la fabrication du sulfate d'ammoniaque. Les vapeurs, provenant de cette dessiccation, composées en grande partie de vapeur d'eau mêlée à des gaz infects, sont appelées directement dans la cheminée de l'usine par des ouvertures situées à l'extrémité de chaque carneau. Quoique ce travail s'effectue dans un magasin parfaitement clos et couvert, les mauvaises odeurs sont loin d'être détruites; la plus grande quantité s'échappe par la cheminée d'appel sans être dénaturée et, suivant la direction du vent, va s'abattre dans le voisinage dans un rayon de plusieurs kilomètres. On peut attribuer, en grande partie à ces évaporations nauséabondes, les plaintes incessantes qui ont accueilli l'ouverture de l'usine de Nanterre en février dernier et sa fermeture au mois de mai suivant. Dans tous les établissements c'est ce travail de dessiccation des matières solides qui est la grande source d'infection.

Mais à ce propos des mauvaises odeurs en général, et en particulier de celles qui ont sévi sur Paris l'été dernier, c'est peut-être à tort que la presse surtout s'est attaquée avec acharnement aux dépotoirs de vidange et aux fabriques de sels ammoniacaux situés autour de Paris. Sans vouloir nier que ces usines ne nuisent un peu à leur voisinage, nous pouvons affirmer que d'autres industries, situées dans l'intérieur de la ville ou près des fortifications, sont une cause d'infection bien plus grande et que les odeurs en sont encore plus nauséabondes. Qu'il suffise de nommer les savonneries, les boyauderies, les fonderies de graisse, les fabriques de colle et d'autres, dont les odeurs répugnantes sont connues de tout le monde et particulièrement des habitants d'Aubervilliers.

Un grand nombre de procédés divers, plus ou moins ingénieux, ont

été proposés, les uns pour séparer immédiatement les matières solides des liquides, les autres pour dessécher mécaniquement les dépôts formés dans les bassins de décantation, mais tous ayant pour but de restreindre ou de supprimer ces bassins. Nous allons en passer en revue quelques-uns seulement, sans avoir la prétention de les faire connaître tous.

Procédé Johnson. — En Angleterre, on a employé avec succès, paraît-il, à Stratford, près Londres, des filtres-presses système Johnson pour obtenir immédiatement la séparation des matières solides. Mais il faut se rappeler qu'à Londres les matières de vidange sont jetées à l'égout et mélangées avec les eaux ménagères. Voici d'ailleurs la description de ce procédé, tel qu'il est appliqué dans l'usine de l'inventeur. (Voir fig. n° 7, planche 15). — Le *sewage* est amené dans de grands réservoirs ou bassins coniques *A*, devant servir à l'approvisionnement de l'usine pour plusieurs jours. De ces bassins des tuyaux amènent successivement la matière dans un réservoir intermédiaire cylindrique *B*, placé en avant des premiers et on y ajoute 10 pour 100 de chaux, à l'état de lait de chaux. Les pompes à air *P*, mues par la vapeur, font le vide dans des réservoirs ou monte-jus en tôle *R*, en communication avec le réservoir *B*. — La matière est d'abord aspirée dans l'un des réservoirs à vide, puis refoulée au moyen d'une pompe refoulante dans de grands filtres-presses F ayant quelque analogie avec les filtres-presses Farinaux. Ces filtres ont 50 plateaux de $1^{m},20$ de côté et la filtration s'opère à travers deux épaisseurs de drap et de croisé. Chaque opération dure de quatre à six heures suivant la composition de la matière et donne 2 mètres cubes de tourteaux solides qui sont recueillis par des wagonnets placés dessous les filtres. Avec une installation de deux filtres-presses semblables la filtration est continue, le déchargement de l'un se faisant pendant que le second continue la filtration. Le sewage anglais, à 95 pour 100 de liquide, produit environ 11 pour 100 de tourteaux de poudrette à 25 pour 100 d'humidité. Une installation complète semblable coûterait environ 40 000 fr., rendue en France, et pourrait traiter par jour 200 mètres cubes.

On a envoyé dernièrement à Londres des échantillons de vidange de Paris pour être expérimentés par ce procédé et les résultats n'ont pas été très concluants. Dans le cas de tout-venant, c'est-à-dire de vidange non mélangée aux eaux d'égout, la chaux n'est plus suffisante

pour obtenir une bonne filtration. Diverses substances ont dû être essayées pour neutraliser les matières gommeuses et mucilagineuses, et la cryolithe (fluorure double de sodium et d'aluminium) semble avoir donné de meilleurs résultats. Il serait à souhaiter que ce procédé fût appliqué en France d'une manière suivie, afin d'avoir des renseignements plus certains et pouvoir être fixé sur le rendement.

Procédé Gauthier et Guéroult. — Ce procédé n'est que l'application de la presse hydraulique de Bertin-Godot, Degoit et Goubet au traitement des vidanges. Cet appareil, déjà employé dans la sucrerie pour presser la pulpe de betteraves et dans la distillerie de grains pour recueillir et comprimer la drêche, est un filtre-presse de grande dimension à pression hydraulique. La pression doit atteindre 50 atmosphères sur les plateaux, suivant les expériences faites par les inventeurs, et chaque plateau est muni d'un crochet d'enclenchement qui le fixe au plateau précédent, de façon à ce que la pression maximum, une fois obtenue, puisse être maintenue pendant longtemps sans le secours de la force motrice. Ce perfectionnement, très avantageux pour le traitement des betteraves ou des grains, n'a pas le même intérêt pour la vidange où l'on demande une filtration, une séparation plutôt qu'un épuisement complet des liquides. Une pression de 4 à 5 atmosphères devrait suffire quand la matière est rendue propre à la filtration. On commence d'ailleurs par traiter le tout-venant par le Saint-Luc ou toute autre matière chimique pouvant obtenir une précipitation. Le Saint-Luc à la dose de 2 kilog. par mètre cube a donné un bon résultat. Le mélange, après avoir été brassé quelques instants, est abandonné à lui-même. Il est désinfecté complètement et, au bout de quelques heures, peut être décanté facilement. A la partie supérieure le liquide clair, inodore, peut être rejeté à l'égout, tout en contenant encore une notable quantité d'azote ammoniacal, ou bien il peut être employé à la fabrication des sels ammoniacaux. Dans ce cas il est nécessaire d'ajouter un excès de chaux pour décomposer les sels fixes qui se sont formés. La partie épaisse, déposée au fond du bassin, passe seule à travers l'appareil filtre-presse hydraulique et donne des tourteaux dosant de 3 à 4 pour 100 d'azote. Le liquide clair provenant de la filtration va rejoindre le précédent provenant de la décantation et peut être envoyé soit à l'égout, soit aux appareils de distillation. — La contenance de la presse est de 600 litres environ pouvant traiter 100 mètres par jour.

Ce procédé serait sur le point d'être expérimenté sur une grande échelle dans une usine de la banlieue de Paris et, s'il réussit, il aura l'avantage de faire supprimer en partie les nombreux bassins de dépôts qui sont une source d'infection et de dépenses dans les établissements. Voici, d'après les inventeurs, le prix de revient pour le traitement de 100 mètres cubes de tout-venant :

Réactif, Saint-Luc, 200 kilog. à $0^f,50$	100^f	—
Main-d'œuvre, 4 ouvriers	20	—
2 mécaniciens	12	—
Charbon, 360 kilog. à 30 francs	10	80
Entretien des appareils	10	—
Amortissement, 10 pour cent du capital	20	—
Total	172^f	80

donnant environ 8 tonnes de poudrette à 3 à 4 pour 100 d'azote.

Procédé Cavalier, de Mazancourt. — M. Cavalier, de Mazancourt (Aisne) a proposé un procédé de précipitation des matières solides à chaud par un composé chimique, dont il ne donne pas la composition et qui varie suivant la nature des vidanges à traiter. Cette première opération ou défécation se fait dans une grande chaudière à double fond chauffée par la vapeur et doit avoir l'inconvénient de produire des vapeurs infectes. La filtration s'opère au travers d'un filtre-presse, système Farinaux, légèrement modifié ; puis on fait passer à travers les filtres et la matière un courant d'air chaud provenant des carneaux des chaudières et destiné à sécher complètement les tourteaux. Un appareil complet pouvant traiter 30 à 35 mètres cubes de vidange coûterait environ 6000 francs. — Ce procédé est encore dans la période d'essai et n'a pas été expérimenté industriellement dans une usine.

Procédé Coquerel. — Ce procédé consiste à ajouter aux matières de vidange du phosphate acide d'alumine, puis à les envoyer dans un monte-jus où le mélange est chauffé jusqu'à 60 ou 70°. Au moyen de la pression de vapeur d'une chaudière timbrée à 5 kilog., la matière traverse un filtre-presse, et on obtient des tourteaux plus ou moins secs, suivant l'état de la vidange. Lorsque celle-ci est chargée de corps étrangers, comme des chiffons, des papiers, de la paille, on obtient

une bonne filtration et des gâteaux presque secs ; mais lorsqu'elle est boueuse, légère, la filtration marche mal et le produit est pâteux, liquide.

La quantité de phosphate acide d'alumine est variable suivant l'état de la vidange. Pour bien réussir, il faut neutraliser tout le carbonate d'ammoniaque, et même avoir des liquides un peu acides au papier de tournesol. On obtient 2,000 kilogrammes environ de produit humide à 30 ou 45 pour 100 d'eau par 24 heures de travail avec une grande presse Farinaux à 24 plateaux. Les liquides provenant de la filtration sont limpides et presque inodores, mais intraitables dans les appareils distillatoires, pour la fabrication du sulfate d'ammoniaque, sans l'addition d'une grande quantité de chaux pour neutraliser l'excès d'acide sulfurique qui a été ajouté. Ce procédé conviendrait principalement pour traiter des matières pâteuses de vidange avec perte des liquides. C'est un essai qu'on fait en ce moment, paraît-il, à Bondy, pour se débarrasser de tout le stock accumulé depuis longtemps dans les bassins, en même temps qu'on y traite par le même procédé le tout-venant amené journellement.

Les engrais secs titrent 2 1/2 pour 100 d'azote et 7 à 8 pour 100 d'acide phosphorique insoluble pour la plus grande partie. A Nantes, où ce procédé fonctionne depuis quelque temps, on emploie les proportions suivantes pour 4 mètres cubes de matières épaisses, pesant 7° Beaumé : acide sulfurique à 58°, 100 kilogrammes ; phosphate d'alumine riche, 100 kilogrammes, produisant 600 kilos de tourteaux humides, pesant de 300 à 350 kilos à l'état sec.

Procédé Hennebute et de Vauréal. — Par ce procédé on veut traiter complètement les matières de vidange ; il comprend deux opérations distinctes : 1° séparation des matières lourdes ; 2° distillation des liquides pour produire du sulfate d'ammoniaque. Examinons d'abord la première, réservant la deuxième au chapitre traitant de la fabrication des sels ammoniacaux. — On traite d'abord le tout-venant par 2 à 3 millièmes de sulfate de zinc, ayant pour but de fixer en sulfate d'ammoniaque les sels volatils ; puis on ajoute 5 à 20 millièmes de chaux éteinte ou mieux de sulfate d'alumine, qui forme un précipité gélatineux entraînant les matières solides en suspension. On laisse reposer le mélange pendant quelques heures ; par décantation on envoie la partie supérieure assez claire dans les appareils de distillation pour produire des

sels ammoniacaux ; la partie solide ou épaisse est passée au filtre-presse Farinaux. Pour cette filtration on peut se servir avec avantage d'un perfectionnement apporté à ces filtres-presses. Chaque plateau est suspendu par deux galets roulants sur des glissières supérieures, de sorte qu'avec une petite manivelle mobile un seul ouvrier peut opérer facilement le serrage et le desserrage de l'appareil au lieu de deux ouvriers exigés par les anciennes presses, pour soulever et écarter les plateaux. Il y a donc ainsi une économie de temps et de main-d'œuvre.

On fait arriver la matière par une pompe aspirante et foulante dans un monte-jus, et une pression de 5 atmosphères est ensuite donnée par la même pompe à air qui agit sur la surface. Il est préférable d'opérer ainsi la pression par l'air comprimé qui sèche les tourteaux, tandis que la vapeur, en se condensant, en augmenterait plutôt l'humidité. Le liquide sort parfaitement clair et inodore des filtres-presses et peut servir à la fabrication du sulfate d'ammoniaque ; les tourteaux solides renferment encore 50 pour 100 d'eau, mais peuvent être séchés facilement à l'air libre ou dans une étuve ; ils dosent, après séchage, 3 à 4 pour 100 d'azote.

Ce procédé nouveau est intéressant et a déjà été essayé dans plusieurs établissements. On monte en ce moment, à Villejuif, une usine complète qui doit traiter les vidanges de Paris par ce procédé ; on sera donc bientôt fixé sur sa valeur industrielle.

Procédé Collet. — Des expériences, suivies récemment par les ingénieurs de la Ville dans l'usine expérimentale de l'inventeur, à Aubervilliers, donnent quelque intérêt d'actualité à ce procédé. On traite à la fois 5 mètres cubes de tout-venant dans un bassin d'une contenance double, par un réactif ayant l'aspect d'une poudre noire et devant être probablement du sulfate de peroxyde de fer très acide, à la dose de 275 à 280 kilogrammes. Il se produit un dégagement très abondant de gaz, la masse double de volume, et la surface se recouvre d'une mousse épaisse, flottante ou *chapeau*. On laisse reposer pendant 4 à 5 heures, on soutire un liquide plus ou moins clair, et le chapeau est envoyé par une pompe dans un grand cylindre fixe, en tôle, de 1^m,80 de diamètre sur 10 mètres de long. On fait ainsi plusieurs opérations successives, et quand le cylindre est suffisamment rempli, on y ajoute 200 à 250 kilogrammes de phosphate et de sulfate de chaux. Dans l'axe du cylindre se meut un arbre garni de palettes qui brassent

constamment la masse pendant qu'un courant d'air chaud à 60 degrés, fourni par un calorifère, traverse l'appareil dans sa longueur. Il faut 7 à 8 heures pour obtenir la dessiccation à peu près complète de la matière donnant un engrais à 2 ou 2 1/2 pour 100 d'azote. Les eaux résiduaires, soutirées après la formation du chapeau, contiennent encore 4 pour 1000 d'azote ammoniacal fixe, c'est-à-dire presque autant que les eaux-vannes primitives, mais il n'y a plus que quelques traces d'azote organique et d'acide phosphorique, lesquels se retrouvent en totalité dans l'engrais. Le liquide, s'il est inodore, n'est pas clair et ne peut pas être envoyé directement dans les égouts ou dans les rivières; il ne peut pas non plus être envoyé dans les colonnes distillatoires pour la fabrication des sels ammoniacaux, car il faudrait une trop grande quantité de chaux pour décomposer les sels ammoniacaux qui ont été rendus fixes par les réactifs. Ce procédé pourrait servir tout au plus pour la dessiccation des matières épaisses plutôt qu'au traitement complet des vidanges.Et on remarquera que pour obtenir cette dessiccation, dans les expériences qui ont été faites, on a ajouté près de 900 kilogrammes de réactif pulvérulent, à l'état sec, pour obtenir seulement 1,300 kilogrammes d'engrais desséché à 40 pour 100 d'humidité. En réalité on a donc produit la différence ou 400 kilogrammes d'engrais provenant de la vidange.

Nous donnons ci-après le résultat d'une analyse, faite par M. Durand-Claye, des différents produits obtenus par ce procédé.

Une deuxième analyse, faite en novembre 1880 par les soins de M. Durand-Claye, a donné les chiffres suivants correspondants au tableau :

Azote.	5.50	3.70	4.40	23.70
Acide phosphorique. . . .	23.60	traces	3.60	63.80

DÉSIGNATION.	EAUX-VANNES.		EAU RÉSIDUAIRE décantée rejetée dans les égouts.		MOUSSES formant le chapeau sur le liquide.		ENGRAIS pris à la sortie du cylindre après dessiccation.	
Eau	871.18		910.64		690.49		289.50	
Azote	5.18		3.79		8.07		17.60	
Autres produits	76.01		69.82		207.23		322.70	
		978.37		984.25		905.79		629.80
Résidus insolubles, cendres	1.34		0.74		43.34		101.43	
Chaux	2.12		0.95		11.35		105.91	
Acide phosphorique	2.64		0.09		4.10		63.69	
Produits non dosés	15.53	21.63	13.97	15.75	35.42	94.21	99.17	370.20
		1000.00		1000.00		1000.00		1000.00

Four Czechowicz. — Pour ce système de traitement, on emploie un foyer à réverbère surmonté d'une voûte plein cintre, à grille inclinée (voir fig. n°s 8 et 9). Pour prévenir une grande production de fumée, en arrière de l'autel est disposé un tuyau en terre réfractaire fermé par les deux bouts, s'alimentant d'air chaud dans le cendrier et le distribuant par de petites buses inclinées à l'extrémité du tuyau et en sens contraire de la flamme, de façon à avoir un mélange parfait. La chambre du fourneau est assez grande pour faciliter le développement de la flamme et obtenir une combustion complète. Une tubulure en fonte fixée au fourneau, pourvue d'un registre isolateur, met le fourneau en communication avec un cylindre horizontal en fonte, supporté par des galets et recevant autour de son axe un mouvement de rotation transmis du moteur par un engrenage placé sur la circonférence.

Ce cylindre constitue le tour rotatif dû à M. Czechowiez. Dans l'intérieur, et fixées sur les parois, se trouvent des lames en tôle légèrement cintrées de $0^{m},15$ de hauteur pour soulever la matière et la rejeter. Une tubulure avec joint à frottement, semblable à celle d'arrivée, fait communiquer l'autre extrémité du cylindre avec un vase, dit de sûreté, placé à la suite, destiné à retenir les matières qui pourraient être entraînées. Les matières épaisses provenant, soit des bassins de décantation, soit d'une précipitation par un réactif quelconque, sont introduites dans ce cylindre par une ouverture placée près de la bouche d'entrée d'air chaud. Avec une vitesse de 3 à 4 tours par minute, la matière est entraînée dans la rotation par adhérence et frottement de la surface, elle est soulevée par les aubes qui la divisent, l'élèvent et la laissent tomber en pluie. Elle est donc tour à tour en contact avec la partie métallique du four, traversée par le courant d'air chaud provenant du foyer, et elle atteint rapidement 95 à 100 degrés. On alimente l'appareil par des chargements successifs qui substituent de nouvelles matières à l'eau enlevée, jusqu'à ce que la quantité ainsi progressivement introduite corresponde à un poids de 2,000 à 2,500 kilogrammes d'engrais sec, quantité qui peut être traitée en une opération, durant de 12 à 14 heures. Les expériences ont donné, paraît-il, jusqu'à 6 kilogrammes d'eau évaporée pour un kilogramme de charbon brûlé, correspondant ainsi au rendement des meilleures chaudières. Le déchargement s'opère par les mêmes tubulures, placées en dessous par la rotation, et des wagonnets enlèvent les engrais à l'état sec.

Les produits de la combustion, chargés de vapeurs et de gaz infects,

gagnent une cheminée d'appel à la température ordinaire des foyers des générateurs. Cette disposition a été adoptée pour le four établi à Bondy depuis 1878 et qui traitait des matières épaisses provenant de l'évaporation dans le vide, par un appareil à triple effet, analogue à celui employé dans les sucreries pour la concentration des jus sucrés. L'inventeur a perfectionné son procédé et a fait suivre son four rotatif de plusieurs appareils destinés à absorber, à condenser les gaz et les vapeurs qui s'échappent. Ces dispositions nouvelles sont indiquées en coupe à la suite du four rotatif (fig. n° 8, pl. 15). D'abord, un condenseur rotatif, à jet continu d'eau froide, puis un condenseur épurateur rempli de coke et recevant un jet d'eau ou d'acide nitreux; enfin, un ventilateur aspirant les gaz et les refoulant dans une cheminée ou mieux sous un foyer spécial à coke. Cette amélioration permet d'absorber la vapeur d'eau, toujours mélangée d'essences infectes qui se condensent en même temps qu'elle dans ces condenseurs.

Ce traitement des vidanges pourrait donc donner un bon résultat, s'il était appliqué, et constituerait certainement un perfectionnement pour la dessiccation des matières; mais il est à craindre qu'une grande partie de l'azote organique soit détruite par les températures trop élevées. — En traitant le tout-venant par la chaux et en précipitant les matières solides, on pourrait utiliser les liquides à la fabrication du sulfate d'ammoniaque.

Une installation complète, comprenant deux fours rotatifs, augmenterait encore le rendement, puisqu'il n'y aurait plus aucun arrêt, la chaleur du foyer passant à travers un four rotatif pendant le déchargement et le rechargement de l'autre.

Four Firman. — Dans ce four, proposé il y a quelques années, pour le desséchement des matières épaisses des vidanges, le four cylindrique est fixe et la masse est constamment agitée par des palettes fixées sur un arbre horizontal. Ce cylindre est entouré par une double enveloppe, dans laquelle circule un courant de vapeur pouvant porter les matières à 90 ou 100 degrés. L'arbre horizontal est creux et reçoit également un courant de vapeur qui vient concourir au chauffage.

Après quelques essais dans plusieurs usines, ce four a été presque abandonné pour les vidanges, et n'est plus guère employé que pour dessécher le sang provenant des abattoirs et diverses matières organiques propres à la fabrication des engrais.

Système Farquhar et Oldham. — MM. Farquhar et Oldham ont fait dernièrement, au dépotoir de la Villette, des essais de séparation avec un filtre spécial différant des filtres ordinaires par ce principe qu'une couche mince de dépôts est enlevée régulièrement et progressivement pendant la filtration, de façon à laisser toujours la matière filtrante dans un état convenable sans être encrassée (voir fig. n° 10). — Le tout-venant, additionné préalablement de 3 pour 100 de chaux, est envoyé dans l'appareil en traversant l'arbre creux AB et arrive dans la caisse en fonte T au-dessus de la matière filtrante. L'extrémité de l'arbre creux AB reçoit un disque S (fig. n° 10 *bis*, pl. 15), tournant avec l'arbre, muni d'un couteau F dans le sens d'un rayon et s'appliquant sur la partie supérieure de la matière filtrante. On comprend que si on imprime au disque un double mouvement de rotation et de descente lente, le dépôt formé à la partie supérieure sera enlevé à chaque révolution et rejeté avec la matière filtrante au-dessus du disque S. La partie supérieure du filtre étant constamment propre, on doit obtenir une filtration régulière. Quand l'opération est terminée, on relève vivement le disque, on enlève la masse des dépôts, mélangée à la matière filtrante, et on replace une nouvelle épaisseur dans le filtre. Après divers essais infructueux avec du charbon de bois, avec du mâchefer réduit en poudre, avec du sable, c'est la sciure de bois, préalablement mouillée, qui semble avoir donné des résultats satisfaisants.

Ce filtre nouveau, appliqué dans les sucreries de betteraves, a donné de bons résultats et plusieurs grands appareils de 2 mètres de diamètre sont en construction dans les ateliers de Fives-Lille pour faire des expériences suivies. Il est à souhaiter qu'on poursuive également des essais sur les vidanges avec ces filtres de grandes dimensions.

Appareil Piquemal. — L'originalité de cet appareil, assez volumineux et encombrant, consiste dans l'emploi simultané, de chaque côté d'un tissu filtrant, du vide et de la pression de l'air. Comme dans tous les autres procédés indistinctement, il faut d'abord traiter les matières provenant des fosses par un réactif quelconque : sulfate de fer, sulfate de zinc, chlorure de zinc, chlorure d'alumine, ayant pour but de précipiter les matières solides, de dénaturer, de coaguler les matières grasses et gommeuses, et de transformer les sels ammoniacaux volatils en sels fixes. On fait ensuite passer les matières précipitées entre deux surfaces cylindro-coniques garnies de tissus filtrants. La pression

d'une pompe à air agit sur la matière, la force à traverser les tissus pendant qu'une pompe pneumatique fait le vide d'un autre côté. Il y a ainsi une augmentation de force, mais aussi une complication de l'appareil ; une pression plus énergique agissant d'un seul côté sur la matière produirait un effet identique, d'une manière plus simple. Les expériences faites à Nanterre dans l'usine des Groues, appartenant à la Compagnie d'Assainissement et de Fertilisation, n'ont pas donné de bons résultats, et l'appareil a dû être enlevé pour être amélioré.

Beaucoup d'autres procédés plus ou moins ingénieux, un grand nombre d'appareils ont été proposés depuis quelque temps pour le traitement immédiat des vidanges, et nous n'avons pas la prétention de les avoir tous examinés et étudiés dans ce travail. Nous avons voulu seulement faire connaître les plus intéressants, et spécialement ceux qui ont fait l'objet d'essais sérieux et suivis. On pardonnera donc facilement les oublis qui ont pu se produire.

FABRICATION DU SULFATE D'AMMONIAQUE.

C'est dans l'urine, dans les liquides des vidanges que se trouve la plus grande partie des matières azotées, des sels ammoniacaux, provenant de la décomposition de l'urée. On y rencontre d'abord une grande quantité de carbonate puis ensuite de sulfhydrate d'ammoniaque, tous deux volatils à l'air libre ou sous l'action de la chaleur. Puis des sels fixes, le sulfate, le chlorhydrate et le phosphate d'ammoniaque ne se décomposant sous l'influence de la chaleur que par l'addition d'une base : magnésie, potasse, soude ou chaux. C'est cette dernière qui est employée le plus souvent à cause de son bon marché. Sous l'action de la chaleur il se forme des sulfates, des chlorures ou des phosphates de chaux et l'ammoniaque libre se dégage entraînant de la vapeur d'eau. Enfin, il se rencontre encore des matières organiques azotées en dissolution ou en suspension. Après des analyses faites sur de nombreux échantillons à la voirie de Bondy, M. Chevalet a donné la moyenne suivante par litre de liquide tout-venant :

Ammoniaque dégagé par la chaleur	3gr,204
Ammoniaque dégagé après addition de carbonate de magnésie	0gr,890
	4gr,094
Azote des matières organiques non précipitées par la chaux .	0gr,063

Il résulte de ces chiffres qu'il est nécessaire d'employer la chaux dans les appareils distillatoires pour dégager complètement l'ammoniaque des eaux-vannes, puisque la chaleur seule ne peut dégager qu'environ les 3/4 de l'ammoniaque. — Sans addition de chaux on perd donc, on rejette à l'égout des eaux contenant encore 1/4 d'ammoniaque à l'état de sels solubles.

Appareils Figuera. — On a commencé, il y a longtemps, à fabriquer du sulfate d'ammoniaque à Bondy, avec les appareils Figuera, aujourd'hui abandonnés. Ils se composaient d'abord d'une grande chaudière horizontale recevant les eaux-vannes et chauffée à feu nu. La vapeur engendrée, mélangée de carbonate d'ammoniaque et d'un peu de sulfydrate, venait barboter dans deux grands cylindres verticaux en tôle contenant également des eaux-vannes qui s'échauffaient et laissaient dégager à leur tour le carbonate d'ammoniaque entraîné par la vapeur d'eau. Celle-ci se condensait dans un serpentin en plomb situé à la suite des cylindres, et les gaz ammoniacaux amenés dans un bac d'acide sulfurique, formaient du sulfate d'ammoniaque cristallisé. Les eaux-vannes à traiter suivaient une marche méthodique inverse, se réchauffant d'abord autour des serpentins de plomb en les refroidissant, puis se rendant dans les cylindres en tôle et terminant enfin par la chaudière horizontale produisant la vapeur. Onze de ces appareils traitaient à Bondy 250 à 300 mètres cubes par jour et produisaient 2500 kilogrammes de sulfate d'ammoniaque.

Appareil Marguerite et Sourdeval. — On a appliqué, dans cet appareil la colonne distillatoire, employée pour la fabrication des alcools, à la distillation des eaux-vannes. Elle se compose de 23 plateaux en fonte de 1,30 de diamètre, les liquides pénétrant au quatorzième plateau à partir du bas, et descendant ensuite de plateau en plateau jusqu'au bas de la colonne, puis s'échappant par un siphon. — Le plateau le plus bas reçoit, par un tuyau, la vapeur d'un générateur qu'on règle à l'aide d'un robinet qui détermine l'ébullition dans toute la colonne et par suite le dégagement du carbonate d'ammoniaque. Ces vapeurs s'échappent par un gros tuyau, placé au sommet de la colonne, et se rendent dans un serpentin refroidi par les eaux-vannes à distiller qui arrivent en sens inverse, c'est-à-dire par la partie inférieure du bac contenant le serpentin. Par la condensation on obtient des eaux ammo-

niacales plus ou moins concentrées qu'on recueille dans un vase en plomb, refroidi dans un bac où passe un courant d'eau froide. Ces eaux formées en grande partie de carbonate d'ammoniaque, servent à la préparation soit de l'ammoniaque caustique, soit de chlorhydrate ou de sulfate d'ammoniaque. Elles marquent ordinairement 16° Baumé.

Les vapeurs ammoniacales ayant échappé à la condensation sont dirigées dans un bac fermé, en plomb, contenant de l'acide sulfurique à 53° Baumé et sont transformées en sulfate d'ammoniaque. On obtient ainsi des eaux-mères à 25° Baumé qu'on évapore au moyen de serpentins en plomb épais chauffés par la vapeur; le sulfate est recueilli à mesure qu'il cristallise, jeté sur des égouttoirs et porté sur des séchoirs ou plaques de fonte placées sur le parcours des carneaux des générateurs à la cheminée. Les gaz infects qui se dégagent avec l'acide carbonique, pendant cette saturation sont envoyés dans la cheminée d'appel de l'usine par un tuyau de plomb et vont incommoder le voisinage avec les vapeurs provenant des bacs à cristallisation. On pourrait bien les diriger sous les grilles des foyers des générateurs, mais l'acide carbonique, étant impropre à la combustion, gênerait beaucoup la marche des foyers. Il serait préférable d'absorber l'acide carbonique par de la chaux en poudre et de faire traverser les gaz infects restants à travers une épaisse couche de coke en combustion. — Au bout de sept ou huit jours de marche il s'est formé dans le bac entourant le serpentin et recevant les eaux-vannes fraîches, des dépôts abondants qu'on retire en ouvrant une valve située à la partie inférieure et qu'on reçoit dans de petits wagonnets disposés en dessous. Les eaux-vannes épuisées qui sortent bouillantes de la colonne se rendent dans des bassins recouverts de plaques de fonte, sur lesquelles on fait sécher les matières pâteuses, provenant des bassins des dépôts, pour en faire de la poudrette, comme cela a été déjà indiqué précédemment.

Un grand nombre de ces appareils fonctionnent à Paris dans les usines de la Compagnie Lesage, de la Compagnie l'Urbaine et dix colonnes ont été montées dernièrement à Nanterre, par la Compagnie Parisienne de Vidanges et Engrais. Chaque colonne, ainsi décrite, peut traiter 100 mètres cubes d'eaux-vannes par vingt-quatre heures, donnant de 9 à 10 kilogr. de sulfate par mètre cube, à 21 pour 100 d'azote et coûte environ 30000 francs. Ces appareils produisent beaucoup, mais, n'employant pas de chaux, rejettent des eaux non épuisées contenant encore la valeur de 3 à 4 kilogrammes de sulfate d'ammoniaque par mètre

cube et qu'on ne devrait pas tolérer dans les égouts ou dans les rivières. Ils sont donc défectueux sous ce rapport et, de plus, ils envoient dans l'atmosphère des vapeurs et des gaz infects provenant des différentes opérations.

Appareil Chevalet. — Dans ce système la colonne distillatoire est remplacée par cinq à six grandes cuves circulaires en tôle B et superposées ayant près de 3 mètres de diamètre et 75 centimètres de hauteur (voir fig. n° 11, pl. 16). Dans chacune de ces cuves des tuyaux verticaux barboteurs, en très grand nombre, amènent les vapeurs ammoniacales produites dans la cuve précédente ; puis des tuyaux de trop-plein maintiennent un niveau constant dans chaque cuve et produisent un écoulement continu des liquides de haut en bas. La dernière cuve inférieure, plus grande que les autres, reçoit 6 à 7 kilogrammes de chaux par mètre cube sous forme de lait de chaux et se trouve chauffée par la vapeur ammoniacale produite dans de grandes chaudières horizontales à feu nu, A^1, A^2, de 1 mètre de diamètre et 8 mètres de long. Ces chaudières sont alimentées par les eaux-vannes, alors mélangées de chaux, qui ont traversé les compartiments précédents. L'ébullition achève le dégagement de l'ammoniaque, déplacé par la chaux, et les vapeurs produites traversent ensuite toutes les autres cuves en les portant également à l'ébullition. Toutes les heures on évacue environ la moitié de chaque chaudière horizontale, par une vanne placée à l'extrémité des carneaux, et on remplace le liquide épuisé par une même quantité d'eau-vanne provenant du dernier compartiment à chaux. Les liquides descendent alors progressivement en s'épuisant davantage. L'ébullition de la colonne peut encore être produite par de la vapeur fournie directement par une chaudière ordinaire A comme cela est représenté en plan (fig. n° 12, pl. 16).

Les eaux résiduaires, contenant un excès de chaux, sont troubles et doivent séjourner quelque temps dans des bassins M traversés par des serpentins S, dans lesquels circulent en sens inverse des eaux-vannes à traiter. Il y a ainsi un échange de chaleur, comme dans tous les autres appareils, et les dépôts qui se forment donnent un engrais titrant 1 1/2 pour 100 d'azote et 5 pour 100 d'acide phosphorique, recherché pour certaines natures de terrains. On peut obtenir cet engrais en faisant sécher les dépôts sur des plaques de fonte au-dessus des carneaux I, ils ne donnent plus aucune odeur ; ou bien en les faisant tra-

verser un filtre-presse Farinaux, la séparation se fait parfaitement et l'on obtient des tourteaux solides. Les eaux résiduaires, parfaitement inodores, retiennent seulement 3 à 5 dix-millièmes d'azote ammoniacal et peuvent être reçues dans les égouts ou dans les cours d'eaux, sans aucun inconvénient.

Les gaz ammoniacaux provenant de la distillation des cuves sont envoyés dans un bac à acide sulfurique F pour produire directement du sulfate d'ammoniaque ; ils viennent barboter dans le bac sous une cloche en plomb G qui empêche toute émanation à l'extérieur. Les gaz non condensés sont dirigés de cette cloche après avoir été refroidis sous le foyer des chaudières. — Les cristaux sont recueillis, égouttés, puis séchés et les eaux-mères à 29° Baumé, restant dans le bac, reçoivent une nouvelle addition d'acide sulfurique à 53° qui les ramène alors à 36° Baumé, puis on fait de nouveau barboter la vapeur ammoniacale et de nouveaux cristaux se déposent. — Il faut environ 110 à 112 kilogrammes d'acide sulfurique à 53° Baumé pour produire 100 kilogrammes de sulfate d'ammoniaque.

Ces appareils, relativement peu coûteux, soit 40 000 francs environ, peuvent traiter 80 à 90 mètres cubes d'eaux-vannes par vingt-quatre heures et ils réunissent toutes les conditions théoriques exigées pour l'épuisement complet de l'ammoniaque des vidanges. Ils sont installés dans plusieurs usines notamment à Paris, Lyon, Nice, Dijon, le Havre et Saint-Quentin.

Avec quelques simplifications cet appareil peut servir à la fabrication du sulfate d'ammoniaque par la distillation des eaux résiduaires de gaz.

L'inventeur a même appliqué son appareil non seulement au traitement des liquides, mais au tout-venant tel qu'il est amené des fosses (voir fig. n° 12). Dans ce cas on supprime les grandes chaudières horizontales et la vapeur est fournie aux cuves distillatoires par un générateur de vapeur ordinaire A. On peut ainsi traiter immédiatement les vidanges, supprimer les encombrants bassins de dépôt. Les eaux résiduaires, chargées de chaux, peuvent encore être filtrées dans un filtre-presse ordinaire et donner un engrais dosant 3 pour 100 d'azote et 5 pour 100 d'acide phosphorique.

Appareil Kuentz. — Le traitement complet proposé par M. Kuentz a pour but spécialement d'éviter toutes émanations au dehors. Il se compose de plusieurs appareils, savoir : d'un premier ensemble de deux

colonnes distillatoires (voir fig. n° 13) ; une première O formée de 15 plateaux reçoit les eaux-vannes, préalablement réchauffées par les chaleurs perdues des eaux résiduaires épuisées et dégage les sels ammoniacaux volatils. Une deuxième colonne R de 8 plateaux, placée au-dessous de la première, reçoit les eaux-vannes de la première colonne, auxquelles on a ajouté de la chaux dans un récipient intermédiaire P, P″. L'ébullition est obtenue par la vapeur d'un générateur ordinaire et la chaux ajoutée décompose les sels fixes dans cette seconde colonne. Les gaz ammoniacaux, recueillis à la partie supérieure des colonnes, traversent un condenseur qui les débarrasse de la vapeur d'eau et se rendent ensuite dans une troisième colonne (voir fig. n° 14, pl. 16) destinée à condenser les vapeurs et à former des eaux ammoniacales concentrées.

Cet appareil de condensation se compose d'un réservoir B dans lequel on entretient un courant d'eau froide et contenant une colonne de condensation *c* traversée par les vapeurs provenant des colonnes distillatoires décrites précédemment. Les eaux provenant de la condensation sont recueillies dans un réservoir inférieur E plongé lui-même dans un bassin D à courant continu d'eau froide. Les gaz nauséabonds et infects qui ont échappé à la condensation, sont dirigés vers des épurateurs dont nous allons parler plus loin.

L'inventeur se propose d'empêcher le dégagement de l'acide carbonique en le retenant par double décomposition ; car il prétend que c'est l'acide carbonique qui sert de véhicule à toutes les vapeurs putrides et les entraîne au loin pour les laisser retomber ensuite à la surface du sol. Pour obtenir du sulfate d'ammoniaque, par exemple, il commence par traiter du phosphate de chaux par de l'acide sulfurique étendu, déplaçant tout l'acide phosphorique :

$$PhO^5.\ 3\,CaO + 3\,SO^3.\ HO = 3\,CaO.\ SO^3 + PhO^5\ 3\,HO.$$

On ajoute ensuite à l'acide phosphorique obtenu des eaux ammoniacales concentrées et on obtient du phosphate d'ammoniaque qu'on évapore. Puis on traite le sulfate de chaux, précipité par le phosphate, également par les eaux ammoniacales concentrées qui contiennent surtout du carbonate d'ammoniaque et l'on obtient du sulfate d'ammoniaque et du carbonate de chaux :

$$SO^3\,CaO + CO^2.\ AzH^3 = SO^3.\ AzH^3 + CO^2.\ CaO.$$

Une simple filtration sépare le carbonate de chaux et en évaporant le liquide filtré on obtient le sulfate d'ammoniaque cristallisé.

Pour obtenir du chlorhydrate d'ammoniaque on ferait des opérations analogues en traitant du phosphate de chaux par de l'acide chlorhydrique, puis le mélange par la solution de carbonate d'ammoniaque. Il se forme du phosphate bibasique de chaux, dont la valeur est triple du phosphate primitivement employé, et du carbonate de chaux qu'on sépare par filtration. La dissolution de chlorhydrate d'ammoniaque est ensuite évaporée pour donner des cristaux.

Ces décompositions peuvent s'opérer en vase clos dans un bac à neutralisation et à évaporation dont le couvercle mobile plonge dans une rigole pleine d'eau, formant joint hydraulique.

A la suite se trouve un épurateur destiné à recevoir les gaz qui n'ont pas été absorbés par l'acide. C'est un récipient à différents compartiments contenant de la chaux éteinte mélangée avec un corps poreux, tel que de la sciure de bois ou de la cendre, et retenant de l'acide carbonique. Les gaz arrivent à la partie inférieure de ce récipient et traversent une dissolution de sulfate de fer qui absorbe l'hydrogène sulfuré. Le couvercle de cet appareil peut être fermé, comme le précédent, par un joint hydraulique.

Enfin, les gaz infects débarrassés de l'acide carbonique et de l'hydrogène sulfuré se rendent dessous la grille d'un foyer à coke spécial, à fort tirage, où ils peuvent être décomposés à haute température ou tout au moins débarrassés de tous germes nuisibles. Le chargement de ce foyer peut se faire par la partie supérieure, comme pour les gazogènes, afin que le combustible soit toujours en parfaite ignition au moment de l'arrivée des gaz.

Des colonnes de ce système fonctionnent à Toulouse et à Clermont-Ferrand. Mais les opérations et les nouvelles dispositions, proposées par l'inventeur et qui viennent d'être indiquées, ne sont pas encore appliquées. Elles doivent compliquer beaucoup la fabrication des sels ammoniacaux, et il n'est pas encore prouvé pratiquement qu'on en obtienne des rendements et des résultats meilleurs. On n'envoie pas d'acide carbonique dans l'atmosphère. Mais est-il certain que ce soit la vraie cause du transport des essences nauséabondes, et ne serait-ce pas plutôt la vapeur d'eau provenant de l'évaporation des solutions concentrées? L'on sait que c'est un des inconvénients des appareils Mar-

guerite et Sourdeval et de tous ceux qui ne produisent pas directement du sel dans les bacs à acide.

Appareil Lair. — On trouvera la description complète et les dessins de cet appareil à la fin du IIe volume de la *Chimie industrielle* de Payen, 6e édition revue par M. Camille Vincent. Nous en donnerons seulement ici quelques indications sommaires en constatant que la théorie y est pleinement appliquée pour le traitement des eaux-vannes. — On se sert d'une colonne distillatoire en fonte composée de 25 plateaux de 0,90 de diamètre. Les eaux-vannes fraîches sont préalablement réchauffées à 75 ou 80 degrés dans deux cylindres en fonte garnis de tubes verticaux, et dans lesquels les eaux épuisées bouillantes suivent un chemin inverse de celles qui arrivent. Un échange de chaleur se produit et les eaux résiduaires sont évacuées presque froides. Les eaux-vannes arrivent, ainsi chauffées, à la partie supérieure de la colonne ; un lait de chaux, dosé d'avance, et envoyé continuellement par une pompe, vient se mélanger vers le quinzième plateau. Les débits des pompes, élevant les aux-vannes et le lait de chaux, sont calculés de façon à envoyer par vingt-quatre heures, sans arrêt, 35 mètres cubes d'eaux-vannes et environ 7 pour 100 de chaux, pris à l'état sec. Les eaux-vannes épuisées arrivent au bas de la colonne troubles et chargées de chaux. On les envoie alors dans deux cylindres, appelés *débourbeurs*, où la chaux se dépose entraînant les matières en suspension. Les boues provenant de ces débourbeurs peuvent être passées au filtre-presse et donner un engrais titrant près de 1 pour 100 d'azote.

Avec cet appareil on épuise presque complètement les eaux-vannes, et les eaux résiduaires, parfaitement claires, refroidies, ne contenant que des traces d'azote et incapables de se putréfier, peuvent être rejetées impunément dans les cours d'eau ou dans les égouts. Mais la colonne distillatoire demande à être souvent nettoyée, la chaux engorgeant assez vite les plateaux. — Quatre appareils de ce genre fonctionnent en ce moment à Bondy ; d'autres sont installés à Créteil et à Saint-Denis et peuvent traiter 35 à 40 mètres cubes de liquide par vingt-quatre heures. Voici le rendement exact d'une de ces colonnes, près de Paris et basé sur une marche régulière.

Les dépenses pour 100 kilogrammes de sulfate d'ammoniaque, sont :

8 mètres cubes eau-vanne, à 1 fr.	Fr.	8 »
110 kilog. acide sulfurique à 53°, à 8 fr.	»	8 80
56 kilog. chaux grasse, à 4 fr..	»	2 25
210 kilog. charbon, à 25 c.	»	5 25
Loyer, amortissement, etc.	»	3 50
Main-d'œuvre	»	6 »
Redevance de brevet, commission	»	2 20
	Fr.	36 »

Le sulfate d'ammoniaque vaut, suivant les cours, de 46 à 50 francs les 100 kilogrammes.

L'installation complète d'une colonne de ce système, avec chaudière, machine à vapeur et accessoires, coûte environ 32,000 francs.

Appareil Hennebutte et de Vauréal. — Nous avons vu précédemment que, par ce procédé, le tout-venant était d'abord traité par un réactif, puis passé au filtre-presse. Le liquide clair obtenu par cette filtration, ajouté au liquide provenant de la décantation, est envoyé dans une chaudière distillatoire rectangulaire en tôle (voir fig. 15, pl. 16). Elle présente trois compartiments surélevés les uns par rapport aux autres A, A′, A″; une cloison montant jusqu'à 10 centimètres du fond supérieur empêche les eaux de chaque compartiment de se déverser dans le compartiment inférieur, tandis qu'une autre cloison SS′, munie d'un éperon, et descendant jusqu'à 10 centimètres du fond inférieur, a pour but, tout à la fois, d'assurer le barbotage des vapeurs et de maintenir le liquide dans un état constant d'agitation.

Des robinets en fonte *a*, *a*′ assurent le mouvement des liquides d'un compartiment dans l'autre. Au-dessus de la chaudière distillatoire est placée une caisse rectangulaire B, jouant le rôle de réfrigérant et portant un large tube ovale C servant de condensateur, lequel est mis en communication avec la chaudière par un tuyau L. Ce condensateur est muni d'un tuyau de dégagement H ayant à sa base un clapet de retenue *h*. Le réchauffage méthodique des liquides à distiller est obtenu au moyen d'une caisse plate à cloisons (voir fig. 16), dans laquelle sont immergées des bouillottes plates en tôle mince, communiquant entre elles par des tronçons de tubes. Les eaux épuisées se décantent d'abord par le repos dans un débourbeur D, puis parcourent successivement chaque case de la caisse, tandis que les

eaux fraîches traversent les bouillottes en sens inverse et sortent environ à 80 degrés. Elles remontent par différence de niveau jusque dans un réservoir E servant de mesureur, et de là dans le premier compartiment supérieur A de la chaudière, où elles sont maintenues jusqu'à la température de 90 degrés, indiquée par un thermomètre plongeant dans un tube de métal mince. C'est dans ce compartiment qu'est évaporée la plus grande partie de carbonate d'ammoniaque volatil, la vapeur d'eau provenant des compartiments suivants devant s'y condenser en partie. Les vapeurs ammoniacales traversent ensuite le condensateur C, diminuent de volume par suite de la condensation et produisent un vide relatif dans l'appareil, permettant l'ébullition à 90 degrés dans le premier compartiment de la chaudière distillatoire. Les liquides sont ensuite amenés par un tuyau, *a* muni d'un robinet, dans le second compartiment A′, où la température atteint 100 degrés; puis dans le troisième compartiment A″, où l'on ajoute un lait de chaux pour décomposer les sels ammoniacaux fixes. Un râcloir à lame M, avec presse-étoupe, permet de nettoyer ce compartiment sans arrêter le travail.

Au-dessus du dernier compartiment existent deux petites caisses d'eaux concentrées G et F. Dans l'une s'emmagasinent les vapeurs condensées entraînées pendant la distillation, tandis que le gaz ammoniac se rend, par un tube de dégagement I dans le bac à acide. Ces eaux ammoniacales concentrées passent dans la seconde caisse, dont le fond est formé par la paroi du compartiment de la chaudière. Sous l'influence de la température élevée de ce compartiment, les eaux concentrées abandonnent l'ammoniaque qui se rend encore dans le bac à acide; les eaux concentrées épuisées sont ramenées par un tube de dégagement *g* dans le compartiment intermédiaire de la chaudière A′. Les eaux résiduaires bouillantes s'écoulent du dernier compartiment de la chaudière dans un débourbeur D, où elles se dépouillent de la chaux en excès, puis de là se rendent dans les cloisons du réchauffeur, dont il a été parlé plus haut, où elles abandonnent progressivement leur calorique au profit des eaux-vannes fraîches.

Des appareils de ce genre fonctionnent, paraît-il, à Bayonne et à Douai, et l'on en installe en ce moment dans une usine près de Paris. Par l'addition du réactif primitif, contenant des sels métalliques, on doit fixer une grande partie de l'ammoniaque, et il est douteux qu'on puisse dégager tout l'azote ammoniacal avec la faible proportion de

chaux indiquée. C'est cependant un procédé intéressant à suivre dans son installation complète, quoique un peu compliquée.

Conclusions. — En résumé, l'évacuation complète des vidanges par les égouts est un système qui devra toujours être préféré en principe au point de vue de l'hygiène publique. Mais à la condition expresse d'avoir un réseau d'égouts, étudié spécialement en vue de ce service, comme dans les villes qui ont été citées : Londres, Bruxelles, Berlin, c'est-à-dire des égouts fermés, à fortes pentes, sans aucun contact avec l'atmosphère.

Quand on sera conduit à admettre des fosses fixes, étanches, les municipalités devront imposer la vidange de jour par procédé atmosphérique, sans aucune locomobile, le vide étant fait préalablement à l'usine. Et à cette occasion on pourrait étudier un projet spécial de canalisation souterraine pouvant entraîner les vidanges hors des villes par aspiration.

Pour le traitement des vidanges aux dépotoirs, on devra exiger des entrepreneurs des bassins voûtés ou recouverts d'un plancher en fer avec hourdis en briques, en communication avec un foyer spécial et une cheminée d'appel, la dessiccation immédiate des matières épaisses en vase clos, avec addition de réactifs désinfectants, tels que chaux, sulfate d'alumine, sulfate ou chlorure de zinc. — Employer des appareils de distillation exigeant une addition de chaux et produire du sel directement dans les bacs à acide, sans évaporation. — Brûler les vapeurs non condensables en leur faisant traverser une épaisseur suffisante de coke en ignition, un gazogène ou un four Siemens.

Dans ces conditions, la fabrication du sulfate d'ammoniaque et des engrais, sans être *absolument* inodore, sera beaucoup moins dangereuse pour la santé publique qu'une foule d'établissements insalubres, traitant des matières organiques en décomposition, situés dans Paris ou près des fortifications, dont les voisins souffrent beaucoup, mais qui n'ont pas eu la mauvaise chance d'impressionner et d'émouvoir l'opinion.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU

MOIS DE DÉCEMBRE 1880

Séance du 3 Décembre 1880.

PRÉSIDENCE DE M. GOTTSCHALK.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 19 novembre est adopté, sous réserve d'une observation de M. Herscher.

M. HERSCHER dit que, tout en apportant les chiffres réclamés dans la dernière séance, savoir : 11,000 mètres cubes pour la capacité de la salle de l'Opéra de Vienne, et 75 mètres carrés pour la somme des sections ordinaires d'introduction d'air, il signale l'inutilité qu'il y aurait à comparer ces chiffres.

M. HERSCHER insiste d'autant plus sur cette remarque, que la forme des questions posées semblerait indiquer que la quantité comparative d'air introduit intéresse le chauffage aussi bien que la ventilation de la susdite salle.

M. HERSCHER ajoute que, d'autre part, même au point de vue de la ventilation, la capacité d'une salle de théâtre, n'est jamais à considérer. Il y a plus; ce n'est même pas le nombre des spectateurs qui règle la quantité d'air à introduire, mais bien la superficie occupée par lesdits spectateurs. Cette surface est de 1,450 mètres carrés à l'Opéra de Vienne.

M. LE PRÉSIDENT s'exprime comme suit :

MES CHERS COLLÈGUES,

Le *Journal officiel* du 25 novembre a porté à votre connaissance un décret de M. le Président de la République, très important pour le génie civil.

Il s'agit de la reconstitution du comité consultatif des chemins de fer

sur des bases nouvelles qui comportent l'adjonction à ce comité d'un membre de la Société des Ingénieurs civils.

C'est à vos suffrages, qui m'ont appelé à la présidence, que je dois certainement d'avoir été désigné pour représenter, pour le moment du moins, notre Société au sein de ce comité; mais c'est bien à la Société des Ingénieurs civils que cet honneur a été rendu.

Ses travaux auxquels un si grand nombre de ses membres ont pris part, cette année, ont évidemment appelé l'attention de l'administration supérieure.

Nous devons nous féliciter, Messieurs, de ces circonstances heureuses, qui permettent à l'élément civil libre de prendre part à l'étude des grandes questions économiques qui intéressent le développement de la prospérité publique.

Je compte sur vous tous, Messieurs, pour m'aider dans la tâche ardue que j'ai entreprise, en acceptant de vous représenter, et je crois être votre interprète en vous disant que tous vous voudrez vous associer aux remerciements que votre comité se propose de présenter, au nom de la Société, au Gouvernement et à M. le Ministre des travaux publics en particulier, pour la mesure libérale qui vient d'être prise.

M. le Président annonce le décès de M. Morpain.

Il annonce également que M. Guigon a été nommé officier de l'ordre du Medjidié.

L'ordre du jour appelle la communication de M. Delaporte, sur le Mémoire de M. de Burg, relatif aux calculs des soupapes de sûreté.

M. Delaporte rappelle que M. le Président a déjà signalé à l'attention de la Société les travaux de M. de Burg, sur l'efficacité des soupapes de sûreté des chaudières à vapeur.

Dès 1862, M. de Burg avait émis l'opinion que les prescriptions des administrations sur les dimensions des soupapes de sûreté *ne donnent pas la sécurité supposée.*

Depuis cette époque, M. de Burg a étudié la question au double point de vue théorique et pratique; et il vient, tout récemment, de donner dans deux brochures[1] publiées à Vienne, les résultats de ses recherches.

Ces résultats confirment complètement l'idée primitivement émise par l'auteur.

En effet, les formules qui servent à déterminer les dimensions des soupapes de sûreté, partent de cette hypothèse que ces soupapes se soulèvent d'une hauteur égale *au quart* du diamètre de l'orifice. L'ouverture produite par ce soulèvement du *quart* du diamètre étant précisément égale à la section *circulaire* de la soupape.

1. Uber die Wirksamkeit der Sicherheits-Ventile bei Dampfkesseln, von Hofrath Adam Freiherrn von Burg. — Wien, 1880.

Supposons, par exemple, que d'après les dimensions d'une chaudière et la pression de la vapeur qu'elle doit produire, un orifice de 80 millimètres de diamètre soit nécessaire pour laisser échapper toute la vapeur produite. Il faudra, pour empêcher tout excès de pression, que la soupape se soulève d'une hauteur égale *au quart* de 80 millimètres, soit 20 millimètres.

Il s'en faut de beaucoup que cette hauteur soit jamais atteinte, car l'expérience démontre que les soupapes ne se soulèvent, *en général*, que de 1/2 à 1 millimètre et dans des cas, *tout à fait exceptionnels*, de 2 à 3 millimètres.

En admettant même, pour l'exemple choisi, un soulèvement de 4 millimètres, la surface annulaire d'échappement ainsi formée ne sera que la cinquième partie de la surface qui serait nécessaire; et il se produira cinq fois plus de vapeur dans la chaudière qu'il ne pourra s'en échapper par la soupape. Si la vapeur n'a pas d'autre issue, la pression augmentera donc jusqu'à ce que la vitesse d'échappement ait quintuplé. Quelle que soit la cause de ce faible soulèvement des soupapes, il est évident qu'il est indispensable d'en tenir compte dans le calcul de leur diamètre.

Ce sont les progrès réalisés dans la théorie mécanique de la chaleur et *surtout* les applications qui en ont été faites à la vapeur d'eau, qui ont engagé M. de Burg à reprendre l'étude de ce sujet.

Dans ses recherches, l'auteur s'est servi des formules et des tables de Zeuner.

Il a d'abord déterminé la vitesse avec laquelle s'échappe la vapeur sous différentes pressions. Voici, dans les limites de la pratique, les vitesses que donne le calcul :

PRESSION ABSOLUE DANS LA CHAUDIÈRE. En atmosphères.	VITESSE D'ÉCHAPPEMENT. En mètres.
2	481.71
3	606.57
4	681.48
5	734.32
6	774.89
7	807.57
8	834.90
9	858.33
10	878.74
11	896.80
12	913.00
13	927.99
14	941.06

Il convient de remarquer ici que l'ancienne formule donnait pour ces vitesses des résultats beaucoup trop forts, ce qui constituait déjà une première cause d'erreur.

L'auteur a étudié la question, très intéressante en pratique, de savoir jusqu'où s'élèvera la pression dans un temps déterminé.

Il a d'abord cherché le temps que met la vapeur à passer d'une pression à une autre, la soupape étant complètement fermée.

Les données prises pour ces calculs sont celles d'une chaudière de locomotive du chemin de fer du sud de l'Autriche :

La surface de chauffe a 126 mètres carrés, la chaudière produit par heure 2,520 kilogrammes de vapeur à une pression de 9 à 10 atmosphères, elle contient 3,700 kilogrammes d'eau et 6 kilogrammes de vapeur, l'eau d'alimentation est prise à 20°.

Les calculs donnent les résultats suivants :

Pour passer de 2 à 3^{at}, il faudrait 118″,1.
d° de 9 à 10^{at}, il ne faudrait que 39″.

Il faut donc trois fois *plus* de temps pour passer de 2 à 3 atmosphères que pour passer de 9 à 10 atmosphères.

Ce premier calcul permet de traiter le cas plus intéressant pour la pratique, où la soupape est ouverte en partie. Avec la même chaudière, la soupape étant chargée pour 2 atmosphères, le calcul indique que la pression augmentera pendant 238″8 jusqu'à atteindre 2^{at},7, et qu'elle restera stationnaire ensuite.

Ces calculs ont été contrôlés par des expériences faites sur la chaudière de locomotive dont les données avaient été prises pour base; et ces résultats viennent d'être publiés dans une brochure spéciale que l'auteur a envoyée à la Société.

De ces expériences il résulte :

1° Que les soupapes de sûreté se soulèvent en général de 1/2 à 1 millimètre, et dans des cas exceptionnels de 2 à 3 millimètres, sans *jamais* dépasser ces limites;

2° Que pour un même excès de pression, la levée d'une soupape diminue avec la pression. Ainsi, les expériences ont montré que tandis que la soupape chargée à 2 atmosphères se soulève de 1^{mm},1 à 2^{at},2, elle ne se soulève que de 0^{mm},47 sous une pression de 8^{at},3, lorsqu'elle est chargée à 8 atmosphères;

3° Que la levée est moindre dans le cas où la soupape est maintenue par un ressort, que dans le cas où elle est pressée par des poids. Ce qui résulte de ce que le ressort oppose une résistance de plus en plus grande à mesure que la soupape se soulève, tandis que le poids n'oppose à la levée de la soupape qu'une résistance constante.

On ne doit donc employer les ressorts, pour charger les soupapes, que dans le cas où il y a nécessité de le faire, comme pour des chaudières de locomotives; mais il vaut mieux employer les poids quand on le peut, comme dans les chaudières fixes.

Pour se rendre compte de la cause qui fait que les soupapes se soulèvent

si peu, l'auteur a fait construire un appareil, au moyen duquel il a pu mesurer la pression à différents points de la surface d'une soupape pendant l'échappement.

Il a trouvé ainsi, dans le cas ordinaire d'une levée de 1/2 millimètre, que la pression est égale à celle de la chaudière sur les 8/9 environ du rayon de la soupape, à partir du centre, et que la pression diminue ensuite jusqu'à la circonférence; mais la largeur de cette zone de dépression augmente très rapidement avec la levée de la soupape.

Il en résulte, que la pression *totale* exercée par la vapeur sur la surface de la soupape diminue à mesure que la soupape se soulève davantage.

On conçoit donc qu'il arrive un moment où le poids, dont la soupape est chargée, fasse équilibre à la pression exercée par la vapeur, quelle que soit d'ailleurs la pression dans la chaudière.

En fait, cette position d'équilibre se réalise bien avant que la levée de la soupape, ait atteint la valeur, qui serait nécessaire pour l'échappement de la vapeur.

La formule à laquelle est arrivé M. de Burg, pour la valeur du diamètre d'une soupape de sûreté, est :

$$D = 318.310,5 \frac{v}{S' \omega} G$$

dans laquelle :

D = le diamètre cherché exprimé en millimètres.

v = le volume spécifique de la vapeur à l'orifice (ou le volume de 1 kil. du mélange de vapeur et d'eau entraînée), exprimé en mètres cubes.

S′ = la hauteur dont se soulève la soupape, exprimée en millimètres.

ω = la vitesse de la vapeur s'échappant de la chaudière dans l'atmosphère, exprimée en mètres par seconde.

G = la production de vapeur en kilogrammes et par heure.

Dans les cas ordinaires de la pratique, la pression variant de 2 à 10 atmosphères, on peut prendre en moyenne $v = 1,5$ et en supposant 2 soupapes, on trouve :

$$d = 233.733 \frac{G}{S' \omega}.$$

Si l'on applique la formule précédente à la chaudière déjà citée, en prenant pour S′ la valeur moyenne de 1/2 millimètre indiquée par les expériences, on trouve que le diamètre d'une soupape unique devrait être. pour

2 atmosphères $1^m,466$
10 — $0^m,731$

Les formules prescrites par les différents états donnaient dans le même cas :

En France, et en Autriche,	pour 2 atmosphères,	231 millimètres.
	pour 10 —	94 —
En Prusse, quelle que soit la pression,		328 —

Remarquons en passant, qu'en France un nouveau règlement du 30 *avril de cette année*, remplace les prescriptions sur le diamètre des soupapes par cette seule condition, que les soupapes placées sur une chaudière, soient au moins au nombre de deux, mais telles que chacune de ces soupapes suffise, quelle que soit l'activité du feu, à maintenir la vapeur à un degré de pression, qui n'excède en aucun cas la limite du timbre.

D'après les expériences de M. de Burg, cette condition ne serait pas pratiquement réalisable, dans la plupart des cas, avec le système des soupapes ordinaires.

L'auteur termine son mémoire par les conclusions suivantes :

1° Les soupapes de sûreté ne peuvent pas, pratiquement, être mises sur une chaudière en nombre ou en dimensions suffisantes pour laisser échapper la vapeur produite en marche normale;

2° Il faut éviter, dans les règlements administratifs, de donner aucune formule ou prescription sur les dimensions des soupapes de sûreté, attendu :

Que si ces prescriptions sont *justes*, elles conduisent à des dimensions irréalisables en pratique, et que, si elles sont *fausses*, elles font croire à une sécurité qui n'existe pas.

M. de Burg a fait admettre cette opinion par le Gouvernement autrichien, qui, depuis le 1er octobre 1875, laisse la détermination des dimensions des soupapes de sûreté, au jugement et à la pratique des constructeurs;

3° Les soupapes de sûreté doivent servir comme un avertissement pour le chauffeur, et tout au plus à empêcher une élévation brusque de la pression, pendant un court espace de temps.

Pour un chauffeur habile et attentif, les soupapes actuelles, quoique trop faibles, d'après la théorie, suffisent cependant; mais *seulement* parce qu'il est possible, en conduisant bien le feu, d'éviter une trop grande accumulation de vapeur sans d'un autre côté laisser trop tomber la pression.

Il était impossible d'exposer en détail, dans un compte rendu sommaire, les travaux théoriques et les expériences de M. de Burg, sur les soupapes de sûreté; le seul but de cette communication a été d'attirer l'attention des personnes compétentes, sur cette question d'un si haut intérêt pratique.

On trouvera, dans les deux brochures que M. de Burg a bien voulu offrir à la Société, un exposé théorique très clair, et très complet de la question, en même temps que le compte rendu, des très nombreuses expériences, qui ont confirmé les résultats des calculs.

M. le Président remercie M. Delaporte, de son intéressante communication.

L'ordre du jour appelle la communication de M. A. Moreau, sur la dynamite-gomme ou gélatine explosive.

M. Auguste Moreau rappelle d'abord en quelques mots l'historique de

l'introduction de la dynamite en France, et les difficultés que le nouvel explosif eut à surmonter pour vaincre la résistance systématique du corps des Ingénieurs des poudres. Enfin, la dynamite finit par forcer nos portes, et l'on sait les services qu'elle rendit pendant la triste guerre de 1870-71.

Il passe ensuite rapidement en revue les principaux progrès réalisés depuis l'invention de la dynamite ordinaire (1868) et les perfectionnements apportés surtout dans le but d'éviter le grave inconvénient de l'*exsudation* de la nitroglycérine.

Dans cet ordre d'idées, il cite la dynamite *à la cellulose* ou *dynamite* 0, la dynamite à la *cellulose nitrée* et enfin, arrive au sujet actuel, la *dynamite-gomme* ou *gélatine explosive*, inventée comme son aînée par l'ingénieur suédois M. Nobel.

Cette substance se prépare en faisant dissoudre dans 92 pour 100 de nitroglycérine, 7 à 8 pour 100 d'une espèce particulière de fulmicoton, analogue à celui qui s'emploie dans la préparation du collodion photographique. On obtient ainsi une sorte de gélatine ressemblant, à s'y méprendre comme aspect et comme consistance, à la pâte de jujube. En variant l'espèce de *nitro-cellulose* employée, on obtient à volonté une gomme, un sirop, une sorte de miel, etc. Le résultat est toujours une combinaison chimique et non un simple mélange.

On peut insensibiliser ce corps au degré voulu par l'adjonction de camphre, d'acétine et surtout de *nitro-benzine*. Quand la dynamite-gomme est destinée aux usages militaires, cette question d'insensibilité est fort importante et on l'obtient de la façon la plus satisfaisante au moyen de 4 p. 100 de camphre.

Sa densité est 1,6, on peut la couper comme la pâte citée plus haut; soumise à une pression de 1000 kilogrammes par centimètre carré, elle ne présente pas la moindre trace d'exsudation; il en est de même si l'on porte sa température à 70° C., limite des températures pratiques auxquelles elle peut être exposée pendant les transports ou dans les magasins.

Les gaz résultant de son explosion sont tout à fait inoffensifs, et à l'air, elle brûle tranquillement, comme la dynamite ordinaire, sans détoner.

Grâce à sa consistance gélatineuse et à l'impossibilité de l'exsudation, la gomme est beaucoup moins sensible au choc que la dynamite et à plus forte raison, que la nitroglycérine.

Enfin, elle est inaltérable à l'eau; elle s'y recouvre simplement, à la longue, d'une mince pellicule blanche qui disparaît ensuite par l'exposition à l'air; les qualités de l'explosif ne sont en rien modifiées, on peut donc le conserver et le transporter sous l'eau, pour éviter toute chance d'incendie.

A côté de ces qualités il y a un défaut : c'est qu'il faut l'emploi d'un détonateur spécial très puissant pour amener l'explosion complète de la gélatine. Cette insensibilité est évidemment encore exagérée par le camphre; mais cette substance est nécessaire, comme cela a été démontré en

Autriche par le Comité militaire, pour que la gomme ne fasse pas explosion sous le choc des balles.

Elle est insensible aux explosions et aux chocs qui peuvent se produire dans son voisinage; on sait, au contraire, que la dynamite et le fulmicoton détonent parfaitement sous l'influence des mouvements vibratoires résultant d'explosions voisines.

Dans les applications à l'art de la guerre, on constate, en outre, que dans les plus mauvaises conditions, la perte du camphre n'est pas suffisante pour diminuer sérieusement l'insensibilité de l'explosif.

La gélatine pure chauffée ne fait explosion qu'à 240°. Quand elle contient du camphre, on peut la porter beaucoup plus haut sans avoir d'explosion, pourvu qu'on opère graduellement. A un moment donné, elle s'enflamme et brûle tranquillement.

Elle résiste au choc du marteau sur une enclume, tandis que la dynamite et le fulmicoton font immédiatement explosion. Nous venons de dire, d'ailleurs, que cette insensibilité au choc était un inconvénient dans la pratique, au point de vue de la facilité de l'explosion et qu'il fallait faire usage de cartouches-amorces spéciales. Après avoir essayé les cartouches réglementaires destinées à faire partir la dynamite gelée (nitroglycérine 75, coton-poudre haché 25), qui n'amenèrent pas l'explosion complète, on s'arrêta à une amorce composée de 40 pour 100 de nitrohydrocellulose imprégnée de 60 pour 100 de nitroglycérine.

La gomme, comme la dynamite, est assez sensible au froid; elle gèle à + 8°, et son état physique a une telle influence sur ses propriétés qu'elle détone beaucoup plus facilement sous le choc, aussitôt qu'elle est gelée et qu'elle a perdu sa consistance gélatineuse.

Mais la congélation ne diminue en rien la force de l'explosif et l'on peut très facilement dégeler les cartouches, comme celles de dynamite ordinaire, au moyen du bain-marie et de la marmite en zinc.

M. Auguste Moreau compare ensuite la puissance de la gomme à celle de différents autres explosifs et établit qu'elle est plus grande que celle de la nitroglycérine elle-même. Ce fait, surprenant au premier abord, est dû à ce que le fulmicoton apporté, fournit le carbone et l'hydrogène nécessaires pour se combiner à l'oxygène que laisse toujours libre l'explosion de la nitroglycérine, ce dernier gaz produit alors de la chaleur et par conséquent du travail.

Or, la dynamite ordinaire n'a guère que la moitié de la force du même poids de nitroglycérine, la gomme est donc deux fois plus forte que la dynamite, et, par conséquent, quatre fois plus forte que la poudre. C'est en effet ce que l'on constate dans les roches dures; dans les autres, la gomme l'emporte toujours, au moins de 50 pour 100 sur la dynamite ordinaire.

En résumé, pour produire un même effet. il faut industriellement :

1 de dynamite-gomme ;
1,10 de nitroglycérine ;
1,50 de dynamite n° 1 ;
2,15 — n° 2 et n° 3.
4,50 de poudre noire ordinaire.

On voit déjà quelle économie il doit en résulter dans les travaux ; la gomme, à vrai dire, coûte 8 francs le kilogramme, tandis que la dynamite n'en coûte que 6 ; mais, l'effet de la gélatine étant supérieur de moitié à celui de la dynamite, il en résulte que les prix d'achat des deux explosifs sont entre eux comme 16 est à 18, c'est-à-dire qu'en somme la gomme revient encore sensiblement meilleur marché.

Notons que dans cette comparaison, on n'a pas tenu compte de l'économie résultant de la diminution dans le forage des trous, économie directe de main-d'œuvre et indirecte en ce sens qu'elle évite la production de menus. Cela est d'une grande importance dans les matériaux à ménager comme l'ardoise, la pierre de taille, la houille, etc.

En général, il résulte d'un grand nombre d'expériences faites jusqu'à ce jour par les ingénieurs les plus compétents, que l'emploi de la gomme permet de réaliser une économie minimum de 20 pour 100 dans la main-d'œuvre et de 15 pour 100 dans la rapidité du travail.

M. Auguste Moreau rapporte plusieurs de ces expériences avec les chiffres qui les accompagnent. Voici, entre autres, les résultats pour le tunnel du Saint-Gothard, qui fut le grand chantier d'essai de tous les explosifs et de la dynamite-gomme en particulier.

Avec la dynamite ordinaire, l'avancement du côté Airolo exigeait $4^k,28$ d'explosifs par mètre cube ; l'abatage en exigeait 2 kilogrammes.

Avec la gomme, la quantité d'explosif nécessaire par mètre cube tomba à $2^k,80$ à l'avancement et à 1,02 à l'abatage. Sur ces poids il y avait dans le premier cas $0^k,300$ d'amorces et $0^k,17$ dans le second.

M. Bossi, ingénieur en chef et directeur de la grande entreprise du Gothard, se déclara des plus satisfaits de ces résultats et envoya à M. Nobel un certificat dans lequel il se plaisait à le reconnaître.

M. Auguste Moreau termine en disant que si ce n'est pas là le dernier mot des explosifs, il est incontestable que M. Nobel a réalisé un très grand progrès dans cette voie, et que tous les ingénieurs et industriels lui seront reconnaissants, non seulement de leur avoir donné un produit leur permettant de réaliser de grandes économies, mais surtout de leur avoir fourni les moyens de supprimer les accidents et d'épargner d'une façon presque absolue la vie des ouvriers.

M. Brüll aurait désiré payer à son tour un juste tribut d'hommages à la remarquable découverte de notre collègue, A. Nobel. Mais après la communication, si complète en tous points, qui vient d'être présentée, il se reprocherait de retenir trop longtemps l'attention sur ce sujet.

M. Brüll aurait voulu rapporter les expériences de M. Leclaire, ingénieur

à Blanzy. Dans le fonçage d'un puits, à travers un banc de grès massif de 23 mètres de puissance, on a obtenu un avancement d'un mètre avec 30 trous de mine chargés à la gomme explosive, tandis qu'il en fallait 45 avec la dynamite n° 1.

M. Brüll pourrait citer aussi les essais qu'il a eu occasion de faire, en novembre 1879, aux mines de Vialas, avec M. Garnier, directeur de ces mines. Là, dans un micaschiste cristallin, très nerveux, fortement mêlé de quartzite de première dureté, trois trous de 1m,10, et de 25 millimètres de diamètre, percés droit dans la roche, chargés chacun de 800 grammes de gomme, ont produit une sous-cave d'un mètre de profondeur, résultat que la dynamite n° 1 ne permet pas d'obtenir.

Mais, laissant de côté ces essais comparatifs, il suffira de citer de rapides extraits d'une communication importante présentée en mars dernier, à la Société des Ingénieurs civils de Londres, par M. le docteur Abel, chimiste du département de la guerre en Angleterre.

M. Abel rappelle d'abord que, treize années auparavant, il a proposé comme véhicule de la nitroglycérine le coton-poudre comprimé qu'il venait de découvrir. Il préparait aussi un genre de dynamite à base active, mais le coton-poudre absorbait moins de nitroglycérine que la silice farineuse, et l'explosif n'avait qu'une force égale à celle de la dynamite n° 1.

M. Abel explique ensuite qu'en employant, non plus la sorte la plus explosive de coton-poudre, mais bien un produit moins avancé de la nitrification de la cellulose, le coton-poudre soluble ou coton-poudre du collodion, M. Nobel a trouvé que la nitroglycérine exerce sur cette substance une action dissolvante particulière; les fibres se gélatinisent et la nitroglycérine se fixe; les deux corps fournissent un produit présentant presque les caractères d'une combinaison.

On remarque la réserve du savant chimiste, sur la question de savoir si la gomme-explosive est une combinaison chimique.

M. Brüll ne voudrait pas être sur ce point important aussi affirmatif que l'a été M. Moreau. Il n'a pas été prouvé encore que le nouvel explosif présente les caractères spécifiques d'une combinaison définie.

M. Abel explique aussi comment la gomme-explosive, doit théoriquement avoir un peu plus de force que la nitroglycérine pure; il indique la préparation de toute une classe nouvelle d'explosifs, formés de diverses proportions de poudres binaires, mélangées à la gélatine explosive; il expose l'action du camphre sur la sensibilité à l'explosion.

Cette action du camphre n'est pas spéciale à la gomme-explosive; elle a été appliquée aussi pour insensibiliser la dynamite n° 1. Cette substance, d'ailleurs, n'est pas aussi sensible aux chocs que pourraient le faire penser certaines parties de la communication de M. Moreau.

M. Brüll a montré qu'une mince planchette de bois, empêche l'explosion de la dynamite n° 1, sous le choc d'une balle de chassepot, tirée à très faible distance.

M. Brüll, rappelant l'autorité dont jouit en Angleterre le nom de M. le Dr Abel, rapporte en terminant la conclusion présentée par ce chimiste, après l'intéressante discussion, qui a suivi sa communication à la Société des Ingénieurs civils de Londres :

« M. Abel croit fermement que les préparations de nitroglycérine épaissie, fournissent les explosifs puissants *par excellence* de l'avenir. »

M. le Président remercie M. Moreau, de sa communication pleine d'intérêt.

M. Brüll donne ensuite connaissance à la Société, d'une lettre de M. Flavien, en date du 28 octobre dernier.

M. Flavien expose qu'à la mine de fer de Diélette, on emploie de la dynamite, et que les eaux de la mine, mêlées à de l'eau de mer, servent à alimenter les chaudières à vapeur. Des corrosions graves se sont produites à l'intérieur de ces chaudières, et, après examen, on les a attribuées à des produits acides, qu'aurait fournis la dynamite, et qui auraient été introduits par l'eau d'alimentation dans les générateurs.

Cette explication ne semble pas bien justifiée. On n'a pas constaté l'acidité de l'eau. Encore moins a-t-on prouvé que cette acidité, si elle existe, fût due à de l'acide nitrique.

Or, chacun sait que le mélange d'eau douce et d'eau de mer est nuisible aux chaudières.

On sait aussi, que les pyrites de fer en s'oxydant se sulfatisent et rendent les eaux acides. Beaucoup d'eaux de mines sont acides par cette cause.

Les phénomènes constatés s'expliquent bien simplement de cette façon.

La dynamite, par contre, ne doit fournir, lorsqu'elle détone dans de bonnes conditions, aucun gaz acide. Il est vrai que mal bourrée ou mise en détonation par des capsules trop faibles, elle peut produire un peu d'acide hypoazotique, mais il semble difficile d'admettre que de faibles masses de gaz acide, mises en contact sous de très petites surfaces avec l'eau, puissent s'y dissoudre en proportion appréciable et la rendre sensiblement acide.

L'ordre du jour appelle la communication de M. Émile Trélat, sur le Génie civil et les Congrès de 1880.

M. Émile Trélat, s'exprime en ces termes :

Messieurs, je ne crois pas abuser de l'ordre de parole qui m'a été accordé, si je dis maintenant quelques mots relatifs à un incident du début de la séance.

M. le Président nous a annoncé tout à l'heure un fait très important : c'est sa nomination parmi les membres du Comité consultatif des Chemins de fer. Il a exprimé l'idée que cette nomination était en fait une distinction collective, exclusivement acquise à la Société des Ingénieurs civils, et d'autant plus précieuse pour lui qu'elle nous appartenait tout entière.

Personne ici ne s'est étonné d'un pareil langage dans la bouche de notre Président. Mais nous savons tous la lacune qu'il comporte ; et je crois me faire l'interprète des sentiments de tout l'auditoire, en disant que le Président de la Société des Ingénieurs civils ne saurait, en cette circonstance, éteindre la personne de M. Gottschalk. Il y a ici deux personnalités, qui, n'auraient ni l'une ni l'autre, pris isolément place dans le Comité consultatif des Chemins de fer. Ce n'était pas la tradition du Gouvernement de venir chercher le Président de notre Société. C'était encore moins son habitude d'appeler un ingénieur civil dans ses conseils permanents. Mais il appartenait à notre Présidence, occupée comme elle l'est cette année, d'ouvrir une porte jadis fermée. Et, si le fauteuil où est assis M. Gottschalk, selon nos votes, est pour une grosse part dans l'événement que nous applaudissons, nous ne pouvons pas oublier que c'est à la sociabilité exquise de l'homme, à son autorité considérable dans les questions de Chemins de fer, à la fierté de son libéralisme et à la franchise avec laquelle il entretient les hommes de gouvernement des choses du Génie civil, qu'est due la solution.

Aussi, Messieurs, permettez-moi de dire, que j'exprime ici un sentiment général, en applaudissant et notre Président et M. Gottschalk, dans le nouveau membre du Comité consultatif des Chemins de fer (*Applaudissements*).

Je ne puis, Messieurs, commencer ma communication sans vous dévoiler un méfait de notre Président. Il s'est permis, à la suite d'une causerie intime qui l'intéressa, d'user de son autorité, très grande sur moi, pour me forcer à venir dire ici des choses qui, je dois le craindre, vous fatigueront. Si vous n'échappez pas à la peine, je vous prie, Messieurs, de m'épargner et de porter sans pitié vos coups sur M. Gottschalk.

Messieurs, j'ai eu le bonheur, cette année, de participer, non sans fatigue et sans peines physiques, à trois Congrès. Engagé dans des missions, que je ne pouvais pas décliner, j'ai pris part au Congrès de l'Association française, à Reims, au Congrès International de l'Enseignement, à Bruxelles, et, enfin, au Congrès International d'Hygiène, à Turin.

Je n'ai pas pu, dans ces différents Congrès, ne pas penser à vous. Le Génie civil y était en effet, très souvent en cause. Il prenait plus ou moins directement sa place dans les questions traitées; mais, il n'était jamais complètement absent. Je n'ai pas la prétention de faire autre chose ce soir, qu'une simple causerie. Je la consacrerai, si vous le permettez, à l'esquisse des traits saillants du Génie civil aux Congrès que je viens de nommer.

Vous savez, Messieurs, que l'*Association française pour l'avancement des sciences*, s'est donné pour principale mission d'organiser et d'administrer chaque année un Congrès dans une ville de province, désignée deux ans à l'avance. Quinze sections embrassent toute la science et ses applications. Elles sont libéralement ouvertes à tout le monde, moyennant une cotisation annuelle de 20 francs. Elles se recrutent dans toute la France, parmi les hommes, comme parmi les femmes. Elles travaillent pendant les

périodes des Congrès, qui ont généralement lieu en août. Leurs travaux sont publiés en volume pendant l'année qui suit le Congrès. Le Congrès de 1880 est le neuvième depuis la fondation de l'œuvre. Il a eu lieu à Reims.

La 3e section, *Navigation*, et la 4e section, *Génie civil et militaire*, fonctionnent jusqu'à présent sous une présidence unique; mais c'est une exception. En principe, chaque Congrès est un atelier qui travaille pendant huit jours autour de quinze centres, où aboutissent plusieurs centaines de communications avec leurs discussions variées. Les sections de Navigation et de Génie civil et militaire, que j'avais l'honneur de présider cette année, ont reçu de nombreux travaux dont je voudrais vous faire apprécier le caractère. J'y parviendrai, je l'espère, en vous signalant quelques-uns d'entre eux.

M. Cotard, notre collègue ici, a traité du *Régime des Eaux et des Travaux publics*. J'ai deux bonnes raisons pour ne pas m'étendre sur ce sujet. D'abord, l'auteur a traité, il y a quelques mois, devant vous, un sujet analogue. Ensuite, il est là à mes côtés; et je parlerais beaucoup moins bien que lui des idées qu'il professe.

M. Durand-Claye a fait une communication sur *L'épuration des eaux-vannes par le sol*. C'est un sujet que vous auriez dû lui entendre développer devant vous il y a un mois, s'il n'avait été empêché. M. Durand-Claye nous a fait saisir, avec la clarté qu'il apporte dans tous ses exposés, la différence des résultats obtenus par les procédés chimiques, par les simples filtrages et par l'action méthodiquement assurée d'un sol perméable. Il nous a montré comment les procédés chimiques sont impuissants à débarrasser les eaux polluées des matières qui y sont dissoutes; comment les filtrages simples sont éphémères dans leurs résultats et combien au contraire l'épuration par le sol donne des résultats constants. Toutes les matières organiques y sont brûlées et transformées en acide carbonique, en acide azotique et en eau; et quand on draine le fond de l'atelier d'épuration, on recueille des eaux quatre fois plus débarrassées de Bactéries et de Vibrions que l'eau de la Vanne, qu'on cite avec raison pour sa pureté.

M. Bazaine a traité devant nous : *de l'Influence de l'irrigation sur l'altitude des nappes d'eau souterraines*.

J'ai, de mon côté, parlé de la *nécessité de disposer les combles métalliques de telle façon que la similitude de figure de ces combles soit toujours conservée, quelle que soit l'influence de la température*. La question est née d'observations récentes et elle est d'une importance considérable, au point de vue de la stabilité d'un certain nombre d'édifices. Le rude hiver de 1879-1880 a causé la ruine plus ou moins complète de plusieurs combles en fer. Les uns se sont notablement défigurés; d'autres se sont lentement abîmés; le marché du Château d'Eau s'est totalement et subitement effondré. On a voulu expliquer ces accidents par les surcharges de neige. Mais il n'y a jamais eu à Paris plus de $0^{m},30$ de neige dans les plus mauvais jours; et il n'y a pas de comble qui ne soit préparé à résister à cet excédent de

charge. D'un autre côté, on a pu remarquer, qu'un grand nombre de combles métalliques se sont très bien comportés par nos plus grands froids. Tels sont notamment les Halles centrales et les marchés de Paris. Il est facile de se rendre compte que dans ces combles, le retrait des pièces causé par le froid n'a amené aucune modification dans leurs positions relatives et qu'elles ont toujours été placées dans les conditions prévues pour conduire ou recevoir en pleine matière les charges à porter. Les choses se sont passées tout autrement dans les combles ruinés, et particulièrement au marché du Château d'Eau. Ici le comble était très long (68 mètres); les pannes n'existaient que sur les trois quarts supérieurs du développement transversal du comble et elles étaient *scellées* à une seule extrémité dans un grand mur; enfin les bas des arbalétriers indépendants les uns des autres sur plus de 3m,50 de hauteur étaient *scellés* dans les maçonneries d'appui. Les retraits exercés sur le pannelage sollicitant le haut des fermes en flanc, tandis que leurs pieds étaient immobilisés, ont faussé les arbalétriers qui ont perdu avec leur rectitude, leur capacité de résistance efficace; et toute l'œuvre a sombré. — Il est très important de se rappeler que le fer constitue toujours des édifices à éléments *grêles*, qui doivent être sans cesse maintenus dans les mêmes positions relatives pour fournir les résistances prévues. C'est ce qu'on obtiendra en suivant la règle que j'ai donnée pour titre à ma communication.

M. Bouquet de la Grye, nous a fait une communication sur *un nouveau procédé de nivellement géométrique*. Il est nécessaire de refaire le nivellement de la France. Les besoins de nos Travaux publics imposent ce travail. D'un autre côté, nous devenons tous les jours plus difficiles. En dehors des exigences des Travaux publics, nous voulons savoir comment se comporte notre sol, constater la permanence de son relief ou mesurer les mouvements qui s'y produisent. C'est une inquiétude moderne née des observations de la science plus riche et plus minutieuse chaque jour. Il faut surveiller la tenue de l'écorce terrestre.

De ce double point de vue on voit naître la nécessité de répandre sur le sol un nombre de cotes aussi exactes que possible; et c'est une opération qui est reconnue intéressante, non seulement par certains esprits supérieurs, mais aussi par l'Administration qui est, ordinairement chez nous, si paresseuse et si difficile à remuer. Le Gouvernement a nommé une Commission du renivellement de la France. L'état de la question est très intéressant. Cette Commission a étudié, contrôlé et défini la justesse des procédés employés jusqu'à ce jour pour faire les nivellements.

Les nivellements dans lesquels la pesanteur de l'air est utilisée, sont des procédés qui ont été immédiatement mis de côté, parce que, dans les applications, ils ne donnent que des résultats comportant des erreurs de 10 mètres.

M. Bouquet de la Grye nous a montré que les procédés géodésiques, étaient très certains pour déterminer les points élevés, et peu accessibles; mais qu'ils perdaient ces avantages dans les plaines, qui sont très habitées et où l'on a besoin de cotes nombreuses.

Quant aux nivellements géométriques, ils ont été remarquablement utilisés et conduits par M. Bourdaloue, qui a établi le très beau réseau de cotes dont nous nous servons maintenant. Mais ce résultat est en grande partie dû à l'habileté d'un homme; car le procédé et l'outillage comportent de nombreuses sources d'erreur.

M. Bouquet de la Grye pense que nous possédons déjà une suite de plans absolument réguliers, qui devraient servir de premier repère dans l'exécution du nouveau nivellement. Ce sont les biefs de toutes nos canalisations. Si on ajoute à ce réseau, nos rivières et nos chemins de fer, faciles à niveler, on comprend qu'à ce riche canevas on puisse aisément rattacher par des profils en travers toutes les cotes nécessaires à la constitution du document désiré.

Mais si l'on veut mener à bien les opérations, il faudra faire appel à d'autres instruments que ceux qu'on a utilisés précédemment. M. Bouquet de la Grye voudrait qu'on substituât aux niveaux généralement employés, un instrument qui s'allonge à volonté. Ce sont deux burettes en verre mises en communication par un tube en caoutchouc, qui s'étend sur toute la distance des deux points nivelés. Le tube a 500 mètres de long, et les burettes 1^{m},80 de haut. Je ne puis pas entrer ici dans la description détaillée de cet appareil fort bien combiné par M. Bouquet de la Grye. Ce que je dois dire, c'est qu'il existe. Il se transporte avec des brouettes sur terre, et avec des batelets sur les rivières. Sur les chemins de fer, il est composé de petits wagonnets formant un train de 600 mètres de longueur.

M. Bouquet de la Grye ne s'en est pas tenu à la description de la solution qu'il propose. Il nous a encore entretenus des dispositions à prendre pour établir un repère fondamental; car il est absolument nécessaire que ce repère reste invariable dans sa situation, quelle que soit la température. Il nous a parlé, enfin, de l'établissement du zéro de la mer et du maréegraphe de la Méditerranée.

Bien que l'Association française soit une société nationale, qui entend garder la liberté de s'occuper sans réserve de toutes les choses chères à la France, elle ne s'interdit pas d'inviter les amis qu'elle compte et qu'elle honore à l'étranger. M. le professeur Fleeming Jenkin, membre de la Société Royale de Londres, faisait partie des invités de 1880. Il s'était agrégé à notre section ; et il a bien voulu nous faire une communication intitulée : *Analyse des machines par une méthode graphique*. A vrai dire, l'étude de M. Fleeming Jenkin résout graphiquement la détermination de l'effet utile des machines. Il me sera assez difficile de vous exposer succinctement l'intéressant procédé de l'auteur. Je ne puis pourtant pas me dispenser de le tenter.

M. Fleeming Jenkin commence par définir le système qu'il envisage, lorsqu'il parle de machines.

La machine, pour lui, est un ensemble *fermé*, dans lequel se trouvent

comprises l'action motrice et les résistances qui la consomment. Ainsi, un ensemble composé d'un cylindre, dont la tige conduit une bielle qui entraîne une manivelle et son arbre chargé de travail, représentera la machine type de M. Jenkin, si elle est établie sur un bâti de fondation rendant absolument *solidaire* tout le système. Ici, le travail moteur est intégralement consommé dans l'appareil. Il n'en serait plus de même d'une sonnette à vapeur, qui, à travers les pieux enfoncés, disperserait son travail dans les couches inférieures du sol. Le mot *machine* étant ainsi limité dans son sens, M. Jenkin établit que la machine la plus simple peut être exactement représentée par un schéma comprenant les quatre côtés d'un quadrilatère, côtés *rigides* et attachés à rotation les uns aux autres, plus deux diagonales *élastiques*. Si l'une des diagonales élastiques représente la force motrice, l'autre fonctionne comme résistance.

L'auteur observe que ce schéma dynamique est composé d'autant d'éléments, *plus un*, qu'il en faudrait pour assurer la rigidité du système, si tous les éléments étaient rigides.

Cela étant établi, il démontre qu'en faisant abstraction du frottement, du poids, et de l'inertie des pièces, la machine à vapeur décrite plus haut est justement représentée dans son fonctionnement par un schéma quadrangulaire de cette espèce et que le rapport des diagonales égale le rapport du travail moteur et du travail résistant, en sorte que le premier est devenu visible dans la figure du second. L'introduction du frottement dans le schéma ne change pas le nombre des côtés; mais il en modifie la *direction*.

L'introduction du poids et de l'inertie double le nombre de côtés rigides et augmente le nombre des diagonales; mais le nombre total des éléments reste encore égal au nombre de ceux qui seraient nécessaires pour assurer la rigidité du système, s'ils étaient tous rigides. Et, de plus, le rapport du travail moteur et du travail résistant, est encore représenté par le rapport de deux longueurs de diagonales.

M. Jenkin constate que, si la machine se complique, elle peut toujours être sectionnée en machines simples dans lesquelles les sections intermédiaires ont successivement pour force motrice la résistance de la section précédente. La conclusion est que le schéma de M. Jenkin peut être appliqué à toutes les machines.

Ces schéma peuvent être établis avec et sans frottement, et l'on peut, sur les mêmes ordonnées, construire, par points, des courbes correspondant à ces deux conditions. Leur rapprochement montre la variation du travail utile de la machine.

La construction des schéma de M. Jenkin paraît être assez laborieuse. Néanmoins, le professeur y a rompu un grand nombre de ses élèves, et l'on doit reconnaître que les résultats sont d'autant plus intéressants, qu'ils parlent aux yeux.

Voilà, Messieurs, les traits caractéristiques de ce qui a été fait dans les

troisième et quatrième sections du Congrès de Reims. Permettez-moi d'abandonner cette ville, pour courir vers un autre Congrès.

Nous avons l'habitude, à l'Association française, de profiter des courses finales que notre administration nous prépare et qui nous permettent de visiter en nous en allant, quelque point remarquable du territoire. J'étais attendu à Bruxelles. J'allais donc au Nord. Je me mêlai au flot des excursionnistes qui se dirigeaient vers les grottes du Han. On gagne Givet; on descend la Meuse; on couche à Dinant; on se jette à l'Est à travers les Ardennes, et tout près de Rochefort on rencontre les grottes. Ce sont de vastes cavernes creusées par les eaux dans un relief calcaire. La promenade qu'on y fait dure plus de deux heures. On monte, on descend, on marche dans la boue à la lueur des torches; on entend le guide refaire la même description de stalagmites à tous les épanouissements du souterrain; puis la fatigue des répétitions orales jointe à celle des faux pas vous gagne et vous prépare admirablement au doux plaisir de monter en barque à une centaine de mètres de la sortie. On vogue sur un fleuve souterrain. Les torches s'éteignent. Vous devinez les vagues approches de l'aube. Puis vous commencez à discerner l'eau, la voûte, vos voisins. Puis, au dernier détour de la grotte, vous saisissez le vrai jour en face. Mais, comme vous êtes vous-même dans les ténèbres, que vos yeux sont très reposés, tous les jeux de lumière sur le paysage, toutes les attaques de l'éther vibrant sur la matière du site extérieur, prennent une apparence de richesse infinie. C'est un voyage d'une minute qui noie les yeux dans l'extase. Le charme disparaît aussitôt que, sortant du souterrain, vous vous plongez vous-même dans la lumière du jour.

Bruxelles fêtait le cinquantenaire de la Constitution belge, quand j'y suis arrivé. Les drapeaux et les banderolles aux édifices, la foule dans les rues, les fanfares se croisant et se saluant des airs les plus variés, les concerts, les cavalcades, les réceptions, les repas de corps; il y avait trois mois que cela durait. Le Bruxellois disait : « Nous sommes un pays neutre. Nous n'avons pas fait de guerre. Nous pouvons bien dépenser quelques millions pour fêter la conquête de nos libertés politiques. » Le fait est qu'à ce bruit de gaieté nationale se joignait dans les édifices publics le bruit des fêtes de l'intelligence. On y discutait de toutes choses. Le Congrès international de l'enseignement, auquel je me rendais, était, je crois, le douzième congrès depuis l'ouverture du cinquantenaire. Ce qui me frappa le plus dans les séances que j'ai suivies, c'est l'ampleur et la fécondité de la parole libre, quand elle se contient d'elle-même dans sa pratique utile. Je me rappelle avoir entendu discuter à la section de l'enseignement primaire les questions si brûlantes de la laïcité et du catéchisme à l'école. Tous les arguments trouvaient leur place pour et contre. L'ardeur et la passion ne faisaient pas défaut à l'occasion. Mais la convenance et la mesure s'imposaient d'elles-mêmes partout. Cela me fit réfléchir plus d'une fois en pensant à mon pays.

Mais, j'oublie, Messieurs, que c'est le Génie civil qui doit m'occuper ici.

Je vais le rencontrer à la section de l'*Hygiène scolaire*, où j'étais rapporteur, et rapporteur d'une question qui intéresse le constructeur, l'architecte, l'ingénieur.

L'hygiène scolaire est une question de premier ordre. Faire de la maison d'école un lieu où tout soit organisé pour développer la santé de l'enfant et favoriser son travail ; c'est tout un problème national. Il ne faut pas croire qu'il soit simple. Les difficultés l'encombrent. Elles se groupent toutes autour de deux titres : *Promiscuité de la vie pendant le jour;* — *Régime de l'école.* Je ne peux pas m'étendre ici sur ce long sujet, mais je dois vous signaler les traits principaux des solutions.

Relativement à la promiscuité, qui peut être si fatale à la santé, il faut écrire cette double règle : qu'il ne devrait plus exister d'école offrant moins de 8 mètres carrés en moyenne par enfant et réunissant plus de 250 écoliers. Nous sommes loin de là.

Relativement au régime, on sait qu'indépendamment des espaces qu'il faut étendre jusqu'à $4^{m^2},20$ pour les préaux couverts, 5 mètres carrés pour les préaux découverts, il ne doit jamais y avoir plus de 40 enfants dans une classe, et ceux-ci doivent y disposer d'une surface de $1^{m^2},25$ chacun, et n'y jamais séjourner plus d'une heure de suite. On sait que des courants d'air extérieurs doivent constamment traverser la classe de part en part, toutes les fois qu'elle n'est pas occupée. On sait que les écoliers doivent être assis et attablés dans une position saine et favorable au travail. On sait que les matériaux des parois doivent être aussi peu perméables que possible. On sait que le voisinage doit être silencieux autour de la classe, et celle-ci garantie contre les échos et les résonnances.

Toutes ces questions et d'autres plus minutieuses ont été discutées et élucidées au Congrès de Bruxelles. Ce sont des études fort délicates qui mettent en scène les considérations les plus diverses. Mais ce qui a donné lieu aux plus nombreux conflits d'idées, c'est la question de l'éclairage des classes. On y a démontré que cet éclairage doit être abondant, régulier et égal, ce qui implique qu'il doit avoir une source unique. C'est ce que j'ai appelé le jour unilatéral, jour puisé d'un seul côté de la classe. J'en demande l'application depuis plus de dix ans. La santé de la vue, la sécurité du travail, le calme de l'écolier l'exigent. J'ai eu la satisfaction de voir le Congrès de Bruxelles émettre un vœu en faveur de cette solution.

Je voudrais maintenant, Messieurs, vous conduire à Turin, où s'est tenu en septembre le troisième *Congrès International d'Hygiène.* Je vous dois une explication sur cette espèce de Congrès. La santé publique fait depuis quelques années la préoccupation de beaucoup d'États. La Belgique, l'Angleterre, l'Allemagne, les États-Unis, nous ont devancés dans les soins que les Gouvernements ou les Associations libres peuvent prendre de la santé publique. Cependant, si nous avons beaucoup à faire en France pour rendre productive une vieille organisation officielle, à laquelle l'activité

seule fait défaut, nous ne sommes pas restés indifférents aux efforts de nos émules. En 1876, la Belgique avait organisé le premier Congrès International d'Hygiène. En 1877, nous avons créé la Société de Médecine publique et d'Hygiène professionnelle, laquelle a fait à Paris avec le plus grand succès le deuxième Congrès International d'Hygiène. Celui-ci a passé la main aux Italiens, qui nous ont reçus à Turin. J'ai l'honneur, Messieurs, de présider cette année la Société de Médecine publique. Il ne m'était pas permis d'oublier le Congrès de Turin. Là, j'ai été un peu partout, faisant profit des questions qui étaient traitées dans des sections très différentes. Presque toutes ces sections ont touché au Génie civil.

Ici, le Dr *Baccelli* a traité de l'assainissement de l'*Agro Romano*. Créer la salubrité de la campagne de Rome. Énorme problème! Les Italiens le tentent à l'aide de colonies pénitentiaires. Ils considèrent qu'ils auront résolu la question, si la mort par la *malaria* à laquelle sont exposés les colons, frappe un moins grand nombre de condamnés vivant dans l'Agro Romano, que la tuberculose dans les prisons. L'humanité, en effet, n'aura plus rien à dire, et la civilisation aura gagné un instrument puissant pour étendre le territoire de la santé et réduire celui de la mort.

Là, le Dr *Spatuzzi*, nous a montré les cartes de *Terra di Lavoro*. Ces cartes sont destinées à guider les assainissements dans les terres de labour, qui manquent de salubrité. Vous savez, Messieurs, qu'indépendamment de la campagne de Rome, l'Italie contient beaucoup de ces contrées, soit sur les plateaux des Apennins; soit, surtout, auprès des deltas des nombreux fleuves. Le Gouvernement Italien a fait faire depuis vingt ans des études remarquables sur ces territoires, comme sur tout ce qui regarde les travaux d'intérêt public dans la Péninsule. J'ai reconnu dans les cartes, que nous avons vues, la suite intéressante de ces belles publications, que l'Italie avait envoyées à notre Exposition de 1878[1].

Autre part, le Dr Layet, professeur d'hygiène, à Bordeaux, nous a présenté des observations curieuses sur les fuites de gaz dans les villes. Il a constaté que l'été, quand la terre devient sèche et légère, les fuites deviennent considérables. Ces fuites sont dangereuses par l'oxyde de carbone qui existe en petites quantités dans le gaz. Mais l'oxyde de carbone est si subtil et il en faut si peu pour causer la mort, qu'on ne saurait trop prendre de précautions pour en garantir les hommes. Ce serait cependant aller trop loin que de condamner le gaz à ne jamais nous chauffer, comme je l'entendais faire sous prétexte qu'augmenter la production du gaz, c'est accroître les chances d'empoisonnement par l'oxyde de carbone. Dans les villes où l'espace manque et où la salubrité est si menacée par l'agglomération des personnes, l'électricité est destinée à prendre une grande part dans l'éclairage de nuit et le gaz, à remplacer beaucoup de

1. La Société des Ingénieurs civils a reçu de M. le commandeur Betocchi, une très attachante communication sur ce sujet, en 1878. Elle a aussi reçu de lui, les 12 magnifiques volumes des Études du gouvernement italien.

combustibles de chauffage. Quelle que soit alors la quantité de gaz nécessaire, il faut viser à le purifier et à le bien établir dans les habitations, non à le supprimer.

A la 2e section, M. le docteur Pagliani a communiqué dans un exposé très émouvant la relation d'une visite qu'il avait faite avec un de ses collègues, dans les ateliers du Saint-Gothard. Le tableau qu'il a présenté est horrible. M. Pagliani ne faisait pas une peinture à effet. Il parlait chiffres en main. Les galeries sont des galeries d'attaque, c'est-à-dire étroites. Elles sont poussées jusqu'à plusieurs kilomètres de longueur sans être élargies. On rencontre là tous les détritus de la vie de cinquante chevaux et de cinq cents hommes qui se pressent au fond de l'ouvrage. Ces détritus ne sont jamais enlevés. On a quelquefois de l'eau jusqu'aux genoux; la température atteint très souvent + 32°, + 34°, et l'hygromètre marque 90 et 99 0/0. Aussi y a-t-il une maladie qui s'appelle, là-bas, l'anémie du Saint-Gothard. Ceci est instructif: la simple description que je vous donne montre au moins qu'il y a absolue nécessité, dans des travaux comme ceux-là, de ne pas faire des galeries d'attaque d'une longueur aussi grande sans les élargir.

Enfin, Messieurs, dans la 5e section, intitulée : *Hygiène militaire*, j'accomplissais une mission spéciale que j'avais reçue de la Société de médecine publique. Je devais y exposer les idées que la Société professe sur les dispositions sanitaires imposées aux bâtiments par l'agglomération des soldats casernés. Vous mesurerez l'importance et la gravité du sujet si je vous dis, Messieurs, l'état de notre casernement en France. La reconstitution de l'armée, l'accroissement de l'effectif de paix ont nécessité l'augmentation des casernements. Cette grande opération s'est faite, soit directement, soit indirectement par l'État sur des plans-types conçus par le génie militaire. Les casernes sont des constructions massives, qui se développent sur 130 mètres de long, 17 mètres de profondeur et 18 mètres de hauteur, qui cubent 40,000 mètres cubes et qui abritent nuit et jour près de 800 hommes. On conçoit que ces énormes bâtiments ne soient utilisables qu'à la condition d'être coupés à l'intérieur par de nombreux planchers et de nombreuses cloisons. Ils comportent donc beaucoup de matériaux enfermés et peu de matériaux confinant à l'extérieur, relativement à la population qu'ils logent. L'aération naturelle y est d'ailleurs annulée dans ses effets par les divisions verticales qui obstruent les courants transversaux. On a là tous les dangers de l'agglomération de la vie humaine, aggravés par la profondeur et la massivité des constructions. Il ne faut pas s'étonner que, dans de pareilles conditions, on n'ait pas trouvé dans nos nouveaux quartiers militaires la salubrité qu'ils doivent fournir avant tout à nos jeunes soldats. On ne peut entretenir la santé dans une caserne massive. Il y a 22 ans que l'Angleterre a transformé sur cette idée ses bâtiments militaires; et, du coup, elle y a réduit la mortalité de 17 à 7,20 sur mille. En France, M. l'ingénieur Tollet a exécuté un certain nombre de casernes, où les hommes,

groupés par unités d'effectifs, habitent de petits pavillons à un seul rez-de-chaussée et sans divisions intérieures. Les résultats sont excellents. Mais il n'y a là que des solutions exceptionnelles qui ont pu être tentées à l'issue de la guerre, alors que les ressources manquaient; mais qui ne sauraient être renouvelées devant la résistance de centralisation refaite dans nos administrations.

La Société de Médecine publique professe, au nom de l'hygiène, que nos casernes massives sont mauvaises; qu'il faut les remanier; mais, surtout, qu'il ne faut plus en construire sur le type de 1874 (celui qui a servi aux *cent millions* de francs de constructions faites depuis cette date). Elle professe que la salubrité d'une caserne est proportionnée, toutes choses égales d'ailleurs, au petit nombre des hommes réunis sous le même toit, à la facilité de l'aération, au grand développement des murailles en contact permanent avec l'atmosphère ambiante, à la réduction des matériaux enfermés. En conséquence de ces préceptes, les pavillons de Bourges, de M. Tollet, comportent 18 fois plus de chances favorables à la santé des habitants que les casernes type 1874; parce que le développement des murs aérés y est plus grand de moitié, et celui des murs enfermés 12 fois plus petit.

En Italie, les esprits étaient tout préparés à ces graves questions. Les opinions s'étaient librement mûries d'avance, et je n'ai eu qu'à formuler un vœu dans le sens du morcellement des casernes massives pour gagner l'unanimité des hommes compétents qui formaient la section.

La municipalité de Milan avait invité le Congrès à une séance de crémation. On partit, le sourire sur les lèvres. Mais on revint avec des pensées sérieuses. Ce qu'on vit montrait trois choses aussi intéressantes qu'inattendues : — l'incinération est une opération très simple; — elle se concilie noblement avec les plus sévères exigences du cérémonial des adieux et des pratiques religieuses; — enfin, elle a pris dans la coutume de Milan une place abritée des critiques. Moyennant l'autorisation du conseil de santé, chacun est libre de faire brûler son corps.

Le cimetière de Milan est précédé d'un *Campo santo* monumental qui étend sa face principale au fond d'une grande cour d'entrée, et qui jette deux bras sur les jardins des tombes à ciel ouvert. On traverse les galeries grises du Campo santo, on pénètre dans les jardins et l'on trouve à l'extrémité le temple crématoire construit aux frais de M. le chevalier Keller, le premier Italien qui ait inscrit dans son testament la volonté que son corps fût brûlé. Son testament est de 1872. Il est mort en 1874. Il a été brûlé en 1876, aussitôt que les dispositions légales l'ont permis. La crémation du corps de M. Keller a été opérée au gaz. Elle a coûté 500 francs. Le brûlement auquel nous avons assisté, a duré une heure trente-cinq minutes. On y a consommé pour 6 francs de bois. Nous avons vu le corps enseveli, placé sur sa grille dans la pièce, où il venait d'être déposé en arrivant de la ville, et tout près de la porte du four. Celui-ci est un appareil à combustion

simple et directe. Les résidus de la crémation ainsi opérée sont des cendres d'une admirable blancheur, en partie pulvérisées, en partie composées de morceaux plus ou moins gros du squelette. Il n'est pas possible de trouver la place d'un dégoût dans la vue qu'on en prend. Si je ne craignais une fausse interprétation de mes paroles dans un sujet qui commande tant de respect, je dirais que ces résidus, blanchis jusqu'à la tonalité d'une belle neige, en gardant une finesse de contexture extrême, captivent les yeux et les retiennent dans une espèce de suavité inconnue.

Pendant que nous assistions à cette opération exécutée dans le four à combustion simple du docteur Gorini, une partie de nos collègues suivait une autre crémation dans un four à combustion méthodique dû à MM. Poma et Veneni. Là, le combustible est d'abord distillé, et les gaz vont se brûler autour du corps. Les résultats obtenus sont semblables à ceux que je viens de décrire. Je crois que l'opération y a été un peu plus prompte.

La crémation est désormais installée en Italie, non à l'état de coutume, mais comme fin utilisable par tous ceux qui la désirent, toutes les fois qu'il n'y a pas d'opposition judiciaire. Nous avons assisté à la quatre-vingtième crémation pratiquée à Milan, et l'on nous a dit que sur le nombre de corps brûlés, on comptait beaucoup de femmes.

Quitterai-je l'Italie, Messieurs, sans vous dire un mot du fonds de cordialité que nous avons trouvé dans ce beau pays? Je ne sais pas m'y résoudre. Il y a, Messieurs, dans le monde deux peuples qui présentent cette singulière similitude de tempérament d'avoir la même forme de logique, le même besoin de garder toujours une petite place au sentiment dans les choses intellectuelles, la même faiblesse qui jette à l'occasion deux hommes dans les bras l'un de l'autre, ou qui laisse voir une larme pendue à leur paupière. Ces deux peuples sont les Italiens et les Français. Je ne dis pas que ce caractère est également marqué des deux côtés. Mais je l'y reconnais ici et là. Combien de fois l'ai-je constaté dans mon dernier voyage! Et combien de fois m'y suis-je trouvé l'esclave d'une émotion insurmontable! Vous savez la diversité des courants nationaux qui traversent l'Italie en ce moment, l'énergie des influences étrangères qui s'y exercent, le conflit des théories qui se professent sur les intérêts et les alliances de peuple à peuple. Les circonstances sont faites pour contredire la tournure naturelle des esprits; et, en effet, les entraînements de l'opinion n'y paraissent pas tous, il s'en faut, dirigés vers la France. Nous nous disions tout cela en lisant les feuilles publiques. Mais voici qu'après un déjeuner de 500 couverts offert au Congrès dans les serres du château Royal de Racconigi, en plein midi, au détour d'une allée ombreuse, notre chant national éclate et fait vibrer les cœurs. C'est la musique de la municipalité de Turin, qui fête les plus nombreux travailleurs du Congrès, les Français. On se tient comme on peut sous le coup de l'émotion. Mais, la marche royale d'Italie finit à peine que la Marseillaise reprend et tout le monde pleure... Je l'ai dit dans un banquet et je ne le regrette pas : cette énorme barrière géologique des Alpes n'est plus qu'une

mince cloison à travers laquelle deux peuples entendent réciproquement battre leurs cœurs.

Avant de vous quitter, Messieurs, je veux revenir en France, à cette Association française, fondée en 1872 pour réparer la grande chute, à cette œuvre, qui a pris pour devise : *Par la science, pour la Patrie*, et qui s'est donné pour tâche de reprendre une à une toutes nos provinces et de les agréger dans la grande volonté du relèvement. Il est bon, Messieurs, de se dire qu'après huit ans de labeur social on a déjà gagné Bordeaux, Lyon, Lille, Nantes, Clermont, le Havre, Montpellier, Reims, et que ces conquêtes ne sont pas des faits de hasard, mais des mariages de passion longuement débattus et préparés. L'Association compte aujourd'hui des milliers de membres. Elle est reconnue d'utilité publique. Elle a des centaines de mille francs; elle aura bientôt des millions. Elle décerne des prix et encourage les efforts des savants de province. Elle garde en elle le feu qui réchauffe l'action; car elle est composée de croyants. Laissez-moi vous dire, que sa tâche ne se poursuit pas toute seule. A côté de ses travaux de sections, elle édite tous les ans dans les discours solennels de ses présidents et de ses secrétaires généraux, de grands aperçus sur les sciences. On se rappelle chez elle des études comme le discours de M. Wurtz, sur la constitution de la matière. Elle ne s'en tient pas là. Elle organise avec les Comités locaux des excursions générales sur les points remarquables du territoire national. Nul de nous n'a oublié l'ascension collective du Puy-de-Dôme, en 1876. Nous étions mille au sommet de ce point culminant de notre massif central. On y avait monté deux pièces d'artillerie qui pétardaient joyeusement dans l'air. Jamais pareille fête n'avait eu lieu sur ce sommet volcanique. Je garderai toujours le souvenir de la splendeur du spectacle incessamment renouvelé dans ces immenses horizons qui nous entouraient, et l'alignement imposant des vieux volcans éteints. J'entends encore la voix touchante de M. Bardoux, baignant d'éloquence la vie de Pascal, au lieu même de ses lumineuses expériences.

Cette année, Messieurs, notre programme consacrait l'un des jours du repos des sections à une course sur l'Argonne : trois heures de chemin de fer, deux heures de marche pour passer le défilé des Islettes. On arrive à Clermont en Argonne. On déjeune sur un promontoire herbeux dominant la vallée qui sépare l'Argonne occidentale de l'Argonne orientale. On vient de voir Valmy en passant. Les causeries vibrent. On est en plein 1792. Mais voici que se lève au milieu de nous le beau vieillard, M Henri Martin, qui est en quelque sorte l'histoire vivante de notre pays. Il étend le bras au Nord et nous montre la longue route pavée que le soleil blanchit aux premiers plans et qui grisonne en droite ligne au lointain de la vallée. Là-bas, c'est Varennes! dit-il! Puis, il parle lentement, ému.....

...La berline du Roi court sur la route dans cette fuite malheureuse, maladroite, qui nous a valu tant de maux et nécessité tant d'héroïsme. Drouet le poursuit par les bois, arrive à temps pour le faire arrêter à Varennes. La

scène est navrante. — Un an se passe ! Les Prussiens et les Autrichiens ont franchi la Meuse. Dumouriez tient les défilés de l'Argonne. Mais il se laisse percer. Tout est-il perdu? —Non.—Dumouriez appelle Kellermann. On prend position à Valmy, derrière l'Argonne. Les Prussiens attaquent, reculent et battent en retraite. L'armée des sans-culottes apprend qu'elle peut repousser les vieilles armées aguerries de l'Europe. La France est sauvée !—Retrouvons l'héroïsme de nos pères et joignons-y la sagesse et la patience... Ah ! Messieurs, cela ne s'est pas écouté sans larmes ; et le vieil orateur en avait plein la voix...

Maintenant, Messieurs, savez-vous la pensée qui m'obsède ici au milieu de votre grande Société si laborieuse et si riche, si forte et si autorisée, quand je songe à l'œuvre de l'Association française? Je me demande comment il se fait que depuis huit ans que je suis l'œuvre de celle-ci, je n'y ai pour ainsi dire pas rencontré d'ingénieurs civils. J'y trouve toujours, au contraire, bon nombre d'ingénieurs des ponts et chaussées et d'ingénieurs militaires. Pourquoi vous abstenez-vous?

Je ne parviens pas à me répondre. Le noble but poursuivi par l'Association française ne peut vous laisser indifférents. Serait-ce donc que vous refuseriez le voisinage d'un corps qui cultive le même champ d'application que vous, mais dont vous ne faites pas partie? Je ne crois pas que ce soit là un propos délibéré chez vous. Mais j'estime que vous êtes guidés ici par un sentiment vague dans une situation mal définie. Si vous me le permettez, j'irai jusqu'au bout de ma pensée. Je crois que les Sociétés sont comme les individus. Plus l'homme se cantonne dans une spécialité, plus il y fortifie son intelligence spéciale ; mais aussi plus il devient étroit dans ses idées. Plus, au contraire, il regarde autour de lui, plus il étend l'horizon de ses jugements, et plus il voit loin. De même il en est des Sociétés. Elles ont tout intérêt à regarder et à savoir ce qui se passe chez les autres. Et je ne doute pas que chacun y gagnerait si l'ingénieur civil, qui est le comptable des solutions hâtives, audacieuses et économiques, se rencontrait parfois et discutait souvent avec l'ingénieur des ponts et chaussées qui a, par condition, l'esprit tourné vers les solutions lentes et académiques. Si vous partagiez cette opinion, Messieurs, quel plus beau champ de rencontre pourrait vous être offert que cette association patriotique, dont je viens de vous entretenir? Et qui celle-ci pourrait-elle s'empresser de recevoir mieux que vous?

M. Le Président se fait l'interprète de tous les membres présents en remerciant M. E. Trélat de sa très intéressante communication, qu'il se réjouit d'avoir provoquée. Il ajoute que tout ce qui vient d'être dit nous engage vivement à faire partie de l'Association française pour l'avancement des sciences et à prendre une part active à ses très remarquables travaux.

Notre année technique ne pouvait mieux se terminer que par cette communication tout à fait magistrale, faite avec un goût délicat et un sens

patriotique propres à l'éloquence de notre éminent collègue Trélat. Les applaudissements partis du cœur qui l'ont accueillie, prouvent que votre Président ne s'est pas trompé en engageant son ami Trélat à réserver sa communication pour la dernière séance de nos travaux.

Les membres nouvellement admis sont :

MM. Aron, Belinne, Bergeron, Bergès, Billaudot, de Bocandé, Bouvier, Chabardès, Cottenet, Couvreux père, Couvreux fils, Delachanal, Desmons, Despret, Dothée, Freulon, Genès, Grousselle, Guitton, Guyon, Halphen (Émile), Hennaü, Hermand, Hutton, Joly de Bammeville, Jouve, Karazinski, Lasne, Levesque, Levi, Mair, Max-Lyon, de Meuron, Michalowski, Monjean, Moulin, de Nansouty, Neveu, Odier, Pauchon, Ratuld, Roy, Schoubart.

Séance du 17 Décembre 1880.

Présidence de M. Gottschalk.

La séance est ouverte à huit heures et demie.

M. le Président annonce le décès de M. Capelle.

Le procès-verbal de la séance du 3 décembre est adopté, sous réserve de quelques observations présentées par M. Bouvet, relativement aux dernières indications données par M. Herscher au commencement du procès-verbal du 3 décembre. M. Bouvet se propose de revenir sur ce sujet quand la question du chauffage et de la ventilation sera reprise.

M. le Président prend la parole et s'exprime comme suit :

Aux termes des articles 17 et 18 de nos Statuts, la réunion de ce jour est une Assemblée générale dans laquelle le Trésorier soumet à l'approbation de la Société les comptes de l'exercice écoulé, après quoi il est procédé à l'élection des membres du bureau et du Comité pour l'année prochaine.

Avant de passer à cet ordre du jour établi par nos traditions, permettez-moi de vous rendre compte, en quelques mots, de la mission dont vous aviez chargé votre bureau dans la dernière séance, sur la proposition de votre Comité. Vous nous aviez délégués auprès de M. le Ministre des Travaux publics et du sous-secrétaire d'État, pour les remercier, au nom de la Société, de la mesure libérale qu'ils venaient de prendre, en faisant décréter qu'un membre de la Société des Ingénieurs civils ferait à l'avenir partie du Comité consultatif des Chemins de fer.

Conformément à votre désir, nous nous sommes empressés de remplir notre mission, et j'ai l'honneur de vous informer que nous avons reçu de

M. le Ministre des Travaux publics le meilleur accueil et des assurances qui peuvent nous faire bien augurer des bienveillantes dispositions de l'Administration supérieure envers les représentants du Génie civil.

M. LE PRÉSIDENT annonce que le Comité vient de décider qu'une mesure nouvelle serait soumise à l'approbation de l'Assemblée générale. Le Comité, en se basant sur ce que font la plupart des sociétés savantes, a jugé utile de nommer des membres correspondants, dans le but d'augmenter autant que possible les sources d'informations, d'alimenter la chronique de notre Bulletin mensuel, de provoquer des mémoires sur les travaux importants exécutés en France ou à l'étranger, enfin de faciliter le recrutement de membres nouveaux.

M. LE PRÉSIDENT propose donc à l'Assemblée générale de prendre la décision suivante :

« *L'Assemblée générale autorise le Comité à nommer parmi les sociétaires un certain nombre de membres correspondants, soit en France, soit à l'étranger. Le Comité fera les nominations au fur et à mesure des nécessités. Pour le moment, le nombre de ces membres ne devra pas dépasser* 12. »

La proposition, soumise au vote de l'Assemblée, est adoptée à l'unanimité.

Conformément à l'article 17 des Statuts, M. LOUSTAU, trésorier, donne communication de l'exposé de la situation financière de la Société.

Il indique que le nombre des Sociétaires, qui était, au 19 décembre 1879, de.	1577
s'est augmenté, par suite de nouvelles admissions, de.	264
	1841
A déduire, par suite de décès, démissions et radiations pendant l'année.	41
Nombre total des Sociétaires au 17 décembre 1880. . .	1800

Les recettes effectuées pendant l'exercice de 1880 se sont élevées à :

		fr. c.	fr. c.
1° Pour le service courant (droits d'admission, cotisations, locations de salles, intérêts d'obligations, amendes, vente de Bulletins, annonces).		66,755 09	84,213 84
2° Pour le fonds social inaliénable, 23 exonérations.	13,800 »	17,458 75	
3° Dons volontaires.	3,658 75		
Il reste à recouvrer en droits d'admission et cotisations. . .			13,485 »
Total de ce qui était dû à la Société.			97,698 84

Au 19 décembre 1879, le solde en caisse était de	9,847 72	94,061 56
Les recettes effectuées pendant l'exercice 1880 se sont élevées à	84,213 84	

Les sorties de caisse de l'exercice se sont élevées à :

1° Pour dépenses courantes diverses (impressions, appointements, contributions, assurances, affranchissements, intérêts de l'emprunt, etc.)	57,570 43	72,918 93
2° Pour achat de 14 obligations sur le fonds courant	5,348 50	
3° Emploi du fonds du capital inaliénable : Remboursement de 17 obligations sur 24 qui ont été désignées par le sort dans l'Assemblée générale du 18 juin 1880, plus 3 qui restaient à rembourser sur l'année 1879	10,000 »	
Il reste en caisse à ce jour		21,142 63

D'après le détail de la situation présentée par le Trésorier, le fonds courant et le capital inaliénable sont constitués de la manière suivante, à la date du 17 décembre 1880.

L'avoir du fonds courant se compose :

1° De l'encaisse en espèces	6,765 16
2° De 165 obligations du Midi, ayant coûté	56,270 94
Total du fonds courant	63,036 10

La Société possède en outre comme fonds social inaliénable :

1° En espèces	14,377 47	20,377 47
2° 19 obligations du Midi, provenant du legs Nozo	6,000 »	
3° Un hôtel dont la construction a coûté	278,706 90	218,206 90
sur lequel il reste dû	60,500 »	
Total de l'avoir de la Société		301,620 47

M. LE TRÉSORIER croit devoir compléter son compte rendu financier par le tableau suivant, qui donne l'état comparatif des principaux résultats obtenus pendant la période de 1873 à 1880.

ÉTAT COMPARATIF DES EXERCICES DE 1873 A 1880.

INDICATIONS.	29 décembre 1873.	18 décembre 1874.	17 décembre 1875.	15 décembre 1876.	21 décembre 1877.	20 décembre 1878.	19 décembre 1879.	17 décembre 1880.
Nombre de Membres...	1113	1185	1263	1346	1420	1526	1577	1800
Membres admis pendant l'Exercice.........	117	114	109	114	109	150	98	264
Membres décédés......	17	15	17	17	21	18	17	21
Membres démissionnaires............	18	10	9	5	3	13	14	7
Membres rayés.......	7	11	11	9	11	13	16	13
Membres exemptés....	9	6	6	6	9	11	5	3
Exonérations de 600 fr.	5	4	3	5	11	13	9	23
Legs..............	»	»	»	Nozo 6.000f, Seguin 5.000f	»	»	Gil Claudie 5.000f	»
Dons volontaires......	»	»	»	»	»	»	72f	3.658f 75
Encaissements de l'Exercice..............	41.867f 00	40.169f 00	44.964f 00	59.159f 10	55.316f 32	63.612f 65	68.346f 74	84.213 84
Achat d'Obligations du Midi.............	»	»	(50) 15.846f 65	(31) 10.098 15	(16) 5.313 60	(29) 10.605 23	(25) 9.552 54	(14) 5.348 50
Remboursement d'Obligations sociales.....	»	»	»	(16) 8.000 00	(16) 8.000 00	(14) 7.000 00	(9) 4.500 00	(20) 10.000 00
Sommes dues.........	19.792 00	20.667 00	17.917 00	18.391 00	18.338 00	16.577 00	11.847 00	13.485 00
Sommes restant en Caisse............	14.147 20	16.016 45	23.416 60	29.499 17	12.362 09	18.529 04	19.400 26	21.142 63
Dépenses de l'Exercice.	31.062 80	35.206 00	37.563 85	37.229 88	48.355 25	45.131 10	52.371 27	57.570 43

M. le Président fait remarquer que malgré les dépenses plus considérables faites cette année, en raison de l'extension donnée à nos Bulletins, et du plus grand nombre d'obligations remboursées, nos ressources disponibles n'ont fait qu'augmenter. Il propose, en conséquence, à l'Assemblée d'approuver les comptes qui viennent de lui être présentés, et d'offrir tous ses remerciements à M. Loustau, dont le dévouement aux intérêts de la Société n'a pas faibli depuis trente ans qu'il est notre sympathique Trésorier.

Ce vote a lieu à l'unanimité et par acclamation.

Il est ensuite procédé au vote pour l'élection des Membres du Bureau et du Comité pour l'année 1881.

Ces élections ont donné le résultat suivant :

BUREAU.

Président :

M. Mathieu (Henri).

Vice-Présidents :

MM. Marché (Ernest).
Martin (Louis).
Brüll (Achille).
Ermel (Frédéric).

Secrétaires :

MM. Lecocq (Édouard).
Delaporte (Georges).
Vallot (Henri).
Douau (Maximilien).

Trésorier : M. Loustau (Gustave).

COMITÉ.

MM. De Comberousse (Charles).
Mallet (Anatole).
Courras (Philippe).
Clémandot (Louis).
Trélat (Émile).
Rey (Louis).
Demimuid (René).
Flachat (Ivan).
Degousée (Edmond).
Forquenot (Victor).

MM. Armengaud jeune (Jules).
Carimantrand (Jules).
Mayer (Ernest).
Desgrange (Hubert).
Périssé (Sylvain).
Hersent (H.).
Cotard (Charles).
Seyrig (Théophile).
Chobrzynski (Jean).
Péligot (Henri).

CHRONIQUE

SOMMAIRE. — Essais des rails d'acier. — Arbres en acier pour navires à vapeur. — Percement du premier tunnel en hélice du chemin de fer du Gothard. — Dépenses de traction dans le service secondaire sur les chemins de fer. — Résultats d'essais de locomotives Compound en Allemagne. — Résistance des briques.

Essais des rails d'acier. — Notre collègue, M. SANDBERG, a fait, dans une récente réunion de l'*Institut américain des Ingénieurs des mines*, une communication sur les essais des rails à laquelle la compétence bien connue de l'auteur dans cette question donne un intérêt tout particulier.

M. Sandberg indique trois genres d'essais : le premier, pour constater la résistance à la flexion par l'application d'une charge; le second, pour la qualité du métal et la résistance à l'usure, et le troisième, qui est un essai au choc, pour la résistance à la rupture. Voici la règle employée pour ces essais.

Pour les rails en fer, le poids du mouton en quintaux (50^k78) multiplié par la hauteur de chute en pieds anglais (0^m305) doit égaler le poids du rail en livres (0^k453) par yard (0^m914). Le choc doit produire au premier coup une flèche de 3/4 de pouce (19 millimètres). Les essais à la rupture sont des essais de sécurité et il est important de s'assurer que tous les rails ont la même résistance; pour ne pas perdre de bons rails, M. Sandberg opère sur des bouts, essayant chaque matin trois bouts du laminage de la nuit et trois du jour et, si ces bouts résistent, on peut être sûr que les rails résisteront aussi. Dans le cas contraire, on avise le fournisseur pour qu'il modifie le métal, et on essaye les rails d'après les prescriptions du cahier des charges, c'est-à-dire qu'on essaye un rail sur cent, et, en cas de rupture, on en rejette dix par rail brisé. C'est la seule méthode pratique, mais elle ne donne pas encore de garantie absolue, et on ne peut empêcher le passage de quelques rails fragiles jusqu'à ce qu'on trouve une méthode simple pour essayer tous les rails individuellement.

La qualité ou la résistance à l'usure des rails en fer s'apprécie par la rupture à la presse, qui a pour effet de constater si le soudage est parfait. On fait ensuite les essais à la charge, mais comme la résistance à la flexion dépend principalement des dimensions du rail, il n'y a pas tant de différence qu'avec les essais précédents. Les essais des rails en fer n'ont plus guère qu'un intérêt rétrospectif et bien secondaire comparativement aux essais des rails en acier. Les épreuves sont faites d'une manière beaucoup plus sévère. Les forges sont portées à produire des rails durs

qui se laminent mieux et donnent moins de déchet, mais les ruptures seraient beaucoup plus fréquentes. On n'est pas d'accord pour savoir lesquels valent mieux pour la durée des rails durs ou des rails doux ; mais, comme le point capital est la sécurité, la meilleure méthode est l'essai au choc avec des moutons très lourds. M. Sandberg emploie, pour l'acier, des moutons trois à quatre fois plus lourds que pour le fer ; un poids d'une tonne (1016 kilog.) tombant de 20 pieds (6m10) pour des rails de 56 livres par yard (28 kilog. le mètre) et de 15 pieds (4m57) pour les rails de 50 livres (25 kilog. le mètre). Ces chutes donnent des flèches de 2 à 4 pouces (51 à 102 millimètres) selon la dureté de l'acier.

Un essai pratique d'une grande valeur est celui qu'on fait en prenant dans chaque charge du convertisseur un petit lingot qu'on transforme au marteau en une barre méplate de 1 pouce sur 1/2 pouce et qu'on doit pouvoir plier à angle droit à froid. Un des bouts de la barre est entaillé, trempé dans l'eau et brisé. Chaque opération du convertisseur doit être approuvée par le chef de l'aciérie avant que les lingots passent aux laminoirs. Si l'échantillon casse au lieu de se laisser plier, la charge est mise de côté et on change immédiatement la fonte pour améliorer la qualité; c'est alors que l'essai chimique a sa place, pour faire voir quelle est la composition du métal et rechercher la cause de la fragilité. Ce contrôle spontané de l'usine elle-même vaut mieux que tous les essais qu'on pourrait faire sur les rails fabriqués. Auparavant on attachait beaucoup d'importance à essayer la teneur en carbone de chaque opération et on le faisait par l'essai par la couleur de Eggerty. On y a renoncé depuis qu'on a reconnu que d'autres substances que le carbone affectaient la résistance de l'acier.

M. Sandberg, opérant comme il a été expliqué, depuis dix ans dans un nombre moyen de douze forges, en Angleterre, constate que l'inspection préliminaire a fait écarter 13 pour 100 de rails d'acier. Mais, comme la plupart étaient rejetés pour des défauts corrigeables, la proportion finale de rails rebutés ne dépasse pas 2 pour 100 ; ceci, bien entendu, ne comprend pas la proportion mise de côté par les forges elles-mêmes avant l'inspection du contrôleur, cette proportion est à peu près égale à l'autre, de sorte que le déchet total peut être estimé aller au maximum à 4 pour 100.

Le redressement des rails d'acier est très important. On opère, jusqu'ici, à froid comme pour les rails de fer, et cette méthode est la cause de presque toutes les ruptures de rails d'acier qui se produisent en service. Il faut donc en venir au redressage à chaud.

M. Sandberg discute les cahiers des charges établis d'après les recherches du docteur Dudley. Il a eu à recevoir d'après ces spécifications 2500 tonnes de rails dans des usines allemandes. La petite quantité de silicium imposée était la difficulté; toutefois, en partant avec une fonte contenant seulement 1 1/2 de silicium, on arrivait à ne pas dépasser le maximum spécifié de 0,04 dans les rails et les conditions imposées furent toutes parfaitement remplies. Mais on eut beaucoup plus de déchet et de rails rebutés, parce que le métal était moins malléable et se laminait beaucoup plus difficile-

ment que s'il eût contenu plus de silicium. Somme toute, les rails établis d'après ces spécifications donneront de moins bons résultats en service. On recherche la présence du silicium dans l'acier pour canons, pourquoi le redouterait-on dans les rails? Il est bien entendu qu'il ne s'agit pas d'en accepter un excès, mais on peut fixer le maximum à 0,2 pour 100, soit cinq fois celui des spécifications du docteur Dudley, pourvu toutefois que les proportions des autres substances ne changent pas.

Le docteur Percy, la plus grande autorité, en Angleterre, sur la chimie du fer et de l'acier, dit qu'on doit se contenter des essais physiques et ne recourir à l'analyse chimique que pour expliquer les résultats anormaux; le chimiste doit être l'aide et non le directeur.

On peut affirmer que les rails d'acier donnent lieu à moins d'accidents que n'en causaient les rails de fer. Si on se reporte aux rapports officiels du chemin de fer de Cologne-Minden, où, malgré la surveillance extrême de la voie, on a constaté en sept ans mille quatre cents ruptures de rails d'acier, il ne s'est produit aucun déraillement pour cette cause. On peut en conclure que la possibilité de rupture des rails d'acier ne constitue pas par elle-même un danger sérieux, si la surveillance de la voie est bien faite. M. Sandberg cite un cas curieux de rupture de rail qu'un hasard singulièrement heureux a seul empêché de causer un grave accident. Ce rail se brisa en dix-sept morceaux, le 26 décembre 1879, près de Cologne, au passage de l'express de Berlin. Il était en service depuis six ans et n'accusait aucune trace de défaut : l'analyse a fait voir que la composition du métal était absolument celle des spécifications du docteur Dudley. Cet exemple indique sans doute qu'il peut se produire, malgré toutes les précautions, des ruptures de rails d'acier; mais, tout compte fait, la proportion des ruptures est moins grande que du temps des rails en fer.

Arbres en acier pour navires à vapeur. — Dans l'exposition de Krupp, à Düsseldorf, figuraient deux arbres coudés en acier fondu au creuset pour navires à vapeur. L'un d'eux avait 7^{m}847 de long, 0^{m}419 de diamètre aux portées et pesait 14 000 kilog. fini. L'autre arbre, de 7^{m}315 de longueur, 0^{m}406 de diamètre et pesant 11 550 kilog., avait accompli cinq ans de service sur le paquebot *Frisia* de la Compagnie de navigation Hambourgeoise-Américaine, pendant lesquels il avait fait 66 500 000 tours et fait parcourir au navire 262 000 milles marins.

Une pancarte indiquait les états de service suivants pour des arbres coudés en acier Krupp au creuset, appartenant à des navires de la même Compagnie.

Navires.	Temps de service.	Nombre de tours.	Parcours en milles marins.
Vandalia	9 ans	111 803 000	345 500
Suevia	5 »	77 100 696	269 101
Cimbria	7 »	49 380 230	198 051

(*Annalen für Gewerbe und Bauwesen.*)

Percement du premier tunnel en hélice du Gothard. — Le percement du tunnel en hélice de Leggistein, au-dessus de Wasen, dans la partie nord du chemin de fer du Gothard, a été terminé le 15 décembre. La longueur de ce tunnel en rampe de 23 millièmes est de 1 095 mètres et les rayons de courbure de 300 et 500 mètres. L'erreur constatée n'a été que de 50 millimètres sur la longueur et 28 millimètres sur la direction. Cette exactitude est d'autant plus remarquable que le tracé était fort difficile puisqu'on ne pouvait tracer sur le terrain qu'une tangente à la courbe d'axe du tunnel; à l'entrée sud où la courbe a 300 mètres de rayon, il a fallu pousser une galerie transversale de 50 mètres de longueur jusqu'à l'axe. Le percement dans un granit très dur a été entièrement fait à la main, l'absence d'eau empêchant l'emploi de moyens mécaniques.

Voici quel était, fin octobre 1880, l'état d'avancement de six autres tunnels en hélice en exécution.

Tunnel de	Wattingen	89	pour 100	de la longueur
»	Prato	77	»	»
»	Pfaffensprug	73	»	»
»	Travi	73	»	»
»	Piano-Tondo	69	»	»
»	Freggio.	63	»	»

A l'exception du dernier, tous les tunnels en hélice seront percés dans le courant du premier semestre de 1881.

Les méthodes employées pour le tracé de ces souterrains ont été exposées, avec le plus grand détail, par M. C. Koppe, dans les numéros des 7 et 14 août 1880, de l'*Eisenbahn*.

(*Eisenbahn*.)

Dépenses de traction dans le service secondaire sur les chemins de fer. — M. Krauss, le constructeur bien connu de locomotives, à Munich, a fait, au groupe bavarois de l'Association des Ingénieurs allemands, une communication des plus intéressantes, sous le titre de : *Un moyen de relever le trafic sur nos chemins de fer*.

M. Krauss, considérant que le matériel roulant ordinaire des grands chemins de fer répond mal aux besoins du trafic local, surtout aux environs des grandes villes où il convient d'avoir des trains légers et fréquents, a, depuis plusieurs années, proposé d'employer pour ce service un matériel spécial de voitures et de machines et il a mis cette idée en pratique, sur une section de chemin de fer de Berlin à Gorlitz, longue de 13 kilomètres environ de Berlin à Grünau; les trains de ce service local ont surtout pour objet le transport des étudiants, des ouvriers, etc., et ne comportent que des places de troisième classe à prix réduits.

Les machines sont de petites machines de tramway du système Krauss, à cylindres et mécanisme extérieur et à quatre roues accouplées, dont les dimensions principales sont :

Diamètre des cylindres	0m160
Course des pistons	0m300
Diamètre des roues	0m630
Écartement des essieux	1m500
Surface de chauffe totale	13m²
Pression effective à la chaudière	12 kilog.
Poids de la machine en service	7500 »

La machine remorque une voiture à impériale dont les dimensions principales sont :

Longueur totale	9m800
Largeur extérieure	3m050
Hauteur au-dessus du rail	4m520
Nombre des places assises en bas	48
» » en haut	52
Nombre des places debout	40
» » total	140
Poids de la voiture vide.	11290 kilog.
Poids par place assise	113 »
Poids par place de toute nature	80 »

M. Krauss fait la comparaison des dépenses de traction avec son matériel et de celles que nécessiterait l'emploi, pour le même service, d'une part du matériel ordinaire du chemin de fer de Berlin à Gorlitz, et d'autre part de la voiture à vapeur de Weissenborn, essayée au chemin de fer de ceinture de Berlin et au chemin de la basse Silésie et des Marches.

M. Krauss adopte pour sa comparaison les bases suivantes :

1° Le train composé du matériel ordinaire comprendrait une machine et son tender, un fourgon et trois voitures de troisième classe, et, si on suppose un parcours journalier de 220 kilomètres, il faudrait, pour assurer le service, avoir trois locomotives et deux trains.

2° Dans le cas de la voiture à vapeur, il faudrait, vu la connexité du véhicule et de l'appareil moteur, pour le même parcours journalier que ci-dessus, trois appareils.

3° Enfin, avec le matériel Krauss, il faudrait trois locomotives et deux wagons seulement.

Nous reproduisons les résultats comparatifs donnés par M. Krauss et qui sont certainement très favorables à son système ; mais, pour montrer qu'on peut faire encore mieux, nous croyons intéressant d'ajouter les résultats analogues obtenus en France avec un matériel spécial qui occupe un rang intermédiaire comme capacité et puissance entre le matériel ordinaire et le matériel Krauss, celui du chemin de fer de Bayonne à Biarritz, composé de locomotives Compound et de voitures à impériale d'un type particulier étudié par notre collègue M. Carimantrand.

Les chiffres que nous donnons sont ceux de l'exploitation de 1879, pour un parcours journalier moyen de 326 kilomètres. Nous avons admis le

matériel tel qu'il existe, savoir: 4 locomotives et 9 voitures à impériale. Le train moyen, auquel les résultats se rapportent, se compose d'une locomotive-tender et de trois voitures. Les données d'établissement et les dépenses de traction sont résumées dans le tableau ci-joint.

DONNÉES D'ÉTABLISSEMENT.

DÉSIGNATION.	Matériel ordinaire BERLIN - GORLITZ.	Voiture à voyageurs WEISSENBORN.	MATÉRIEL KRAUSS.	BAYONNE-BIARRITZ.
Poids total du train vide	90.000k	18.750	19.500	46.000
Nombre total de places du train	125	45	140	288
Poids du train par place	720k	416	216	161
Longueur totale du train	51m	14	14.40	34.20
Prix d'achat du train	81.250f	25.000	25.000	65.000
Prix par place	650	555	277 50	226
Valeur du matériel nécessaire pour assurer le service	212.500	75.000	65.000	230.000
Intérêt et amortissement à 8 pour 100 l'an	17.000	6.000	5.200	18.400

DÉPENSES DE TRACTION.

DÉSIGNATION.	Matériel ordinaire BERLIN - GORLITZ.	Voiture à voyageurs WEISSENBORN.	MATÉRIEL KRAUSS.	BAYONNE-BIARRITZ.
	fr.	fr.	fr.	fr.
Personnel (par jour)	41.12	19.14	19.14	22.752
Indemnités au personnel	17.50	7.92	7.92	»
Primes de combustible et de graissage	3.44	1.87	1.87	»
Combustible	28.12	10.79	10.79	29.782
Graissage, eau, nettoyage, éclairage	18.38	8.95	7.34	16.380
Réparations aux machines et voitures	31.75	6.90	5.49	36.700
Manœuvres sur les plaques tournantes	6.00	6.00	»	»
Intérêt et amortissement	46.57	16.41	14.25	50.410
Total des dépenses de traction	192.88	78.01	66.80	156.024
Dépenses par kilomètre de parcours	0.904	0.355	0.304	0.477
Dépenses par kilomètre et par place	0.0072	0.0079	0.0022	0.0017
Chiffre proportionnel	4.2	4.7	1.3	1

On voit par l'examen de ce tableau que si les résultats économiques du système Krauss sont incontestablement avantageux, ceux du chemin de fer

de Bayonne-Biarritz le sont encore davantage et, de plus, ils empruntent une valeur encore plus grande aux considérations suivantes, sur lesquelles nous croyons nécessaire d'appeler l'attention :

1° Les chiffres des tableaux correspondent, pour le chemin de fer de Bayonne-Biarritz, au travail *moyen* des machines pendant l'année entière, tandis que le travail maximum a été supérieur, puisqu'il correspond à un train de quatre et cinq voitures au lieu de trois, et par conséquent à un chiffre maximum de 380 et 475 voyageurs au lieu de 288, tandis que pour le matériel Krauss le train ordinaire est en même temps le train maximum;

2° Le matériel du chemin de Bayonne-Biarritz est suffisant pour faire un parcours maximum journalier de 480 kilomètres, ce qui a lieu pendant les mois d'été, tandis que le matériel Krauss devrait être augmenté s'il devait se prêter à un parcours maximum égal à une fois et demie le parcours moyen;

3° La proportion des places debout au nombre total des places n'est que de 21 pour cent dans les voitures de Bayonne-Biarritz, tandis qu'elle est de 28 pour cent dans les voitures Krauss;

4° Le profil du chemin de Bayonne-Biarritz, qui compte 38 pour cent de la longueur en rampes supérieures à 5 millièmes, et 30 pour cent en rampe continue de 15 millièmes et un grand nombre de courbes descendant à 300 mètres de rayon, est certainement plus difficile que celui du chemin de Berlin à Gorlitz, qui est une grande ligne à faibles inclinaisons et courbes de grand rayon;

5° Le matériel du chemin de fer de Bayonne-Biarritz a coûté proportionnellement plus cher que le matériel Krauss, et le combustible est d'un prix plus élevé à Bayonne (28 francs la tonne) qu'en Allemagne;

6° Enfin la vitesse moyenne sur la ligne française est de 33 kilomètres à l'heure, tandis qu'il est peu probable que les machines Krauss, avec leurs petites roues de 630 millimètres de diamètre, puissent dépasser, avec sécurité, une vitesse *maximum* de 20 à 25 kilomètres.

Si on veut savoir quel est au chemin de Bayonne-Biarritz le prix de la traction, non plus par place offerte, mais par voyageur réellement transporté et par kilomètre, il faut diviser 0f,477 par 37, nombre moyen de voyageurs par train pour 1879; on obtient 0,0129, soit *un centime et vingt-neuf centièmes*.

Nous rappelons que nous avons indiqué dans la Chronique de septembre l'emploi de machines construites dans cet ordre d'idées pour les chemins de fer du sud et du nord-ouest de l'Autriche, suivant le système Elbel.

Résultats d'essais de Locomotives Compound en Allemagne. — Nous avons annoncé dans la Chronique de juin que la direction des chemins de fer de l'État de Hanovre avait résolu d'expérimenter le système Compound.

Voici sur les résultats de ces essais d'intéressants renseignements extraits en partie des *Annalen für Gewerbe und Bauwesen* et complétés par une

communication personnelle de M. von Borries, ingénieur en chef du matériel des chemins de fer de l'État de Hanovre. Pour faire un essai comparatif sérieux, la Direction fit construire dans la même usine, celle de Schichau, à Elbing, quatre locomotives, dont deux avec les cylindres égaux et les deux autres avec les cylindres inégaux, les machines étant semblables pour tout le reste, si ce n'est que les Compound ont un régulateur spécial et un relevage indépendant pour chaque coulisse.

Les machines ordinaires ont deux cylindres de $0^{m},200$ de diamètre, les machines Compound un cylindre de 0,200 et un de 0,300; la course est pour tous de $0^{m},400$. Les machines n'ont que deux essieux portant des roues de 1,130 de diamètre, et écartés de 4 mètres. Les chaudières ont 22 mètres carrés de surface de chauffe et sont timbrées à 12 kilogrammes par centimètre carré. Ces machines pèsent 18 tonnes en service, elles portent un compartiment à bagages et ressemblent beaucoup aux machines du système Elbel du nord-ouest autrichien; elles ont été construites sur les plans de M. von Borries.

Ces locomotives sont entrées en service depuis quelques mois; on a pu immédiatement constater que la marche est aussi régulière avec les machines Compound qu'avec les autres, et que la production de vapeur est suffisante.

La ligne sur laquelle les essais ont eu lieu a un quart en rampe et un quart en pente de 10 millièmes, un quart en rampes et pentes de 5 à 7 millièmes et un quart de niveau ou à peu près. La vitesse de marche est de 35 à 40 kilomètres à l'heure. Les trains se composaient de deux voitures pesant 18 tonnes, soit un poids total de 36 tonnes, machine comprise.

Pour apprécier la consommation de combustible, on a fait faire simultanément, pendant 40 jours consécutifs, le même service à deux locomotives, l'une du système Compound, l'autre du système ordinaire, et on a trouvé que, déduction faite de l'allumage et des stationnements, les locomotives Compound n'avaient brûlé que 2,1 kilogrammes par kilomètre de combustible tandis que les autres machines avaient dépensé 2,6 kilogrammes, d'où une économie de 20 pour cent. On pense qu'on aurait pu avoir davantage, si les orifices d'arrivée de la vapeur au grand cylindre n'avaient, par leurs dimensions insuffisantes, causé une perte de pression, et on espère que, ce défaut corrigé, on réalisera une économie de 25 pour cent.

La consommation par tonne kilométrique ressort à $\frac{2,1}{36} = 0^{k},0583$. Elle est pratiquement identique à celle des machines de Bayonne-Biarritz dont il a été question dans l'article précédent et dont la dépense par tonne kilométrique pour l'année 1879 est de $0^{k},629$, et seulement de $0^{k},568$ pour les mois où ont été faits les essais des machines allemandes; les conditions de traction sur la ligne française sont d'ailleurs plus difficiles à cause du profil et de la nature du matériel remorqué.

M. von Borries indique que l'adoption du système Compound, réalisant une économie de 20 pour 100, sur les machines des chemins de fer de

l'État prussien, qui dépensent en moyenne 0f,156 de combustible par kilomètre, produirait, pour 40,000 kilomètres de parcours annuel moyen, une économie de 1,250 francs par machine et par an, sans compter que les machines pourraient être faites plus légères et seraient par suite d'un prix moins élevé.

Résistance des briques. — La résistance des briques à l'écrasement varie considérablement avec leur qualité. M. Trautwine, ingénieur civil à Philadelphie, qui a fait de nombreuses expériences sur ce sujet, a constaté que, si les briques tendres s'écrasent sous une charge de 30 à 40 kilogrammes par centimètre carré, des briques de qualité supérieure, moulées mécaniquement sous forte pression, exigent une charge de 300 à 400 kilogrammes par centimètre carré, c'est-à-dire autant que les grès et les deux tiers de la charge d'écrasement des marbres et calcaires de bonne qualité et la moitié de celle des granits et des ardoises.

Il est vrai que la maçonnerie de briques ne peut supporter que des charges inférieures à celles des briques isolées. On a constaté, en Angleterre, que des massifs cubiques de briques maçonnées en ciment s'écrasaient sous des charges de 40 à 50 kilogrammes par centimètre carré. Un massif en briques et ciment de Portland n'a même cédé que sous une charge de 200 kilogrammes par centimètre carré.

Mais des fentes et des crevasses commencent à se manifester bien avant l'écrasement, et il est prudent de ne pas faire supporter aux maçonneries de briques plus du dixième ou du huitième de la charge d'écrasement. Les chiffres ci-dessus s'appliquent à des massifs cubiques, mais dès que la hauteur augmente par rapport à la base, la charge doit diminuer; ainsi, dans une tour en briques à faire le plomb de chasse, à Baltimore, dont la hauteur est de 75 mètres, la charge de la base ne dépasse pas 6 1/2 kilogrammes par centimètre carré; pour une cheminée en briques de 143 mètres de hauteur à Glasgow, cette charge est de 9 kilogrammes. Le professeur Rankine a calculé, pour cette cheminée, que, dans de forts coups de vent, la charge du côté sous le vent peut s'élever à 15 kilogrammes.

Il est bien entendu que dans ces deux constructions les parois vont en diminuant d'épaisseur du bas vers le haut; dans un mur de 50 mètres de hauteur et d'épaisseur uniforme, la charge à la base est de 5,5 kilogrammes par centimètre carré[1].

Il est prudent, dans l'état actuel de nos connaissances sur ce sujet, de ne pas soumettre les maçonneries de briques de choix faites à la machine avec mortier de ciment, à plus de 12 kilogrammes par centimètre carré, et les maçonneries de briques ordinaires à plus de 8.

(*Engineering News.*)

1. Ce chiffre supposerait une densité bien faible pour la maçonnerie de briques. A. M.

COMPTES RENDUS

ACADÉMIE DES SCIENCES.

Séance du 15 Novembre 1880.

Note de M. Forquignon sur la **fonte malléable**. — La fonte blanche, étant constituée avec absorption de chaleur à partir des éléments, se décompose et se carbonise, pour ainsi dire, sous l'influence d'une température inférieure à son point de fusion, et, en même temps que le métal soumis à l'opération s'adoucit, on observe, dans toute sa masse, un abondant dépôt de graphite.

Si, au lieu d'être dans un milieu inerte, la fonte est en contact avec une substance capable de brûler ou d'absorber le carbone, une réaction secondaire prend naissance; le carbone libre étant éliminé des couches superficielles, le graphite des couches profondes rentre en combinaison et chemine vers la surface, puis disparaît, et ainsi de suite, jusqu'à ce que la composition moyenne de la pièce réponde à un certain état de carburation, variable avec les circonstances du recuit.

Il se passe quelque chose d'analogue au phénomène de la cémentation, mais avec plus de complication, puisqu'il se superpose deux actions chimiques tout à fait distinctes.

Une proportion de manganèse, même inférieure à 5 millièmes, entrave déjà l'adoucissement, qui cesse d'être appréciable dès que la quantité de manganèse arrive à 2 pour 100. La fonte continue bien à perdre du carbone par oxydation, mais le manganèse s'oppose à la production du graphite et le retient en combinaison dans la masse métallique.

Les conclusions de l'auteur sont que :

1° Une fonte malléable contient toujours du graphite;

2° Une fonte peut perdre du carbone et cependant rester cassante, s'il ne s'est pas formé de graphite ou si la quantité de graphite préexistant avant le recuit ne s'est pas accusée;

3° Une fonte peut devenir malléable sans perdre une portion sensible de son carbone total (recuits dans le charbon). Le concours d'un agent d'oxydation n'est donc pas indispensable à l'adoucissement;

4° Quand on ajoute du silicium à une fonte manganésifère, elle s'améliore par le recuit.

L'hydrogène, vers 900°, décarbure rapidement la fonte blanche. Il se forme des carbures gazeux et une certaine quantité d'hydrogène demeure combinée avec le carbone qui reste dans le métal.

L'azote lui-même, le plus inerte des gaz, exerce une action semblable et tout aussi énergique.

La charge de rupture augmente avec la durée du recuit, rapidement d'abord, très lentement ensuite; les allongements, toujours minimes, suivent une marche analogue; mais, après avoir atteint un maximum, ils tendent à diminuer un peu.

Quant à la limite d'élasticité, elle s'abaisse en général à chaque recuit.

En somme, la fonte malléable apparaît comme intermédiaire entre l'acier et la fonte grise. Elle s'éloigne de celle-ci par la nature spéciale de son graphite amorphe et par sa ténacité plus grande; elle se distingue de l'acier par ses faibles allongements et sa forte teneur en graphite.

SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

SEPTEMBRE 1880.

Rapport de M. Sebert, sur les perfectionnements apportés par M. Chambrier à son **télégraphe imprimeur à cadran**. — Cet appareil est surtout intéressant pour les applications dans lesquelles on ne peut recourir à un personnel expérimenté spécial; il trouve donc un emploi dans les petites gares, les usines, établissements industriels, etc. De plus, le fait de laisser la trace écrite des dépêches transmises, sans qu'il soit possible d'en surprendre le sens au passage, est un avantage qui peut être très appréciable dans certains cas.

Rapport de M. Popelin, sur l'extension donnée à **la substitution des plaques de zinc aux pierres lithographiques**, par M. Monrocq. — Le rapport contient des chiffres intéressants sur cette question : pour un même travail, 5000 matrices de zinc d'une valeur de 38,500 francs, ont remplacé 250,000 de pierres lithographiques; économie 211,500 francs.

Des tableaux d'histoire naturelle, format dit grand-monde, au nombre de cent, ont exigé 2000 francs de zinc au lieu de 15,000 francs de pierres,

celles-ci eussent pesé 25,000 kilogrammes, tandis que le zinc n'a pesé que 400 kilogrammes.

De l'emploi de l'appareil dit accélérographe, pour la mesure des pressions développées par les gaz de la poudre, et l'étude de la loi des mouvements de recul d'une bouche à feu, par M. SEBERT. — L'appareil dit accélérographe peut s'installer soit sur une chambre d'explosion, soit sur une bouche à feu. C'est un piston ajusté avec soin et dont on enregistre le mouvement sous l'action des gaz développés par l'explosion, au moyen d'une petite plume d'acier qui trace un trait sur un tableau d'acier ou de verre recouvert de noir de fumée. Le tableau est mû par la contraction d'une bande de caoutchouc préalablement tendue ou par la chute d'un poids.

On peut se faire une idée de la difficulté du problème par ce fait que la durée du parcours d'un projectile dans l'âme d'une bouche à feu est comprise entre un et deux centièmes de seconde, et que la pression des gaz de la poudre sur les parois dépasse toujours 2000 kilogrammes et s'élève quelquefois à 3000 et 4000 kilogrammes par centimètre carré.

Application de l'éclairage électrique aux ardoisières d'Angers, par M. BLAVIER. — Le résumé de ce travail a été donné dans le numéro de mai, d'après les *Annales des Mines*.

Sur le photophone de M. Graham Bell, par M. DU MONCEL.

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES

OCTOBRE 1880.

Rapport de M. L. LALANNE, sur les **travaux de la Commission technique Européenne**. — Il s'agissait, au sujet de la délimitation des frontières de la Roumanie, de rechercher s'il n'était pas possible d'édifier à la frontière roumano-bulgare, un pont sur le Danube, ailleurs qu'à l'endroit fixé par la Commission de délimitation des frontières, et dans quelles conditions une telle construction pourrait être exécutée.

Comparaison de **quelques dépenses relatives au service des phares**, en France, aux États-Unis et en Angleterre, par M. ALLARD, inspecteur général des ponts et chaussées. — Le développement du littoral

des États-Unis sur les deux Océans et sur les grands lacs est de 7500 milles marins, et celui des côtes de France de 1550. On trouve pour les deux pays :

	États-Unis.	France.
Nombre de phares pour 100 milles marins . .	9	25
Id. de bouées pour id.	12	53

Aux États-Unis, les dépenses annuelles sont de 10,642,000 francs pour les travaux d'entretien, 6,633,000 francs pour les travaux neufs ; total 17,275,000 francs.

En France, les chiffres correspondants sont 1,790,000 francs et 600,000, donnant un total de 2,390,000 francs.

La dépense totale par mille de côte est donc de 2165 francs pour les États-Unis, et 1542 francs pour la France.

Pour ce qui est de l'éclairage spécial des phares, on trouve qu'un phare coûte en moyenne 3580 francs par an en France, et 11,790 francs aux États-Unis.

Dans ce dernier pays aucun phare n'est encore éclairé à l'électricité, tandis que la lumière électrique a été introduite en France et en Angleterre dans plusieurs phares, depuis plus de seize ans. Les frais d'un phare électrique sont en France de 11,900 francs par an, et en Angleterre de 24,400, soit le double.

Les dépenses d'établissement sont également bien moindres en France qu'en Angleterre. Ainsi, pour les tours isolées en mer, qui sont des ouvrages difficiles et coûteux, la moyenne de 7 phares anglais donne un prix de 30,690 francs par mètre de hauteur, tandis que le prix correspondant pour la moyenne de 9 phares français n'est que de 11,530 francs.

L'auteur dit qu'il n'entreprendra pas d'expliquer les différences énormes de dépenses entre la France et les autres pays ; il croit toutefois qu'en dehors de quelque différence sur le prix de la main-d'œuvre, on doit l'attribuer surtout à ce que, contrairement à une opinion assez répandue, les ingénieurs des ponts et chaussées apportent dans l'exécution de leurs travaux une rigoureuse économie et se gardent d'y introduire des dispositions de luxe qui ne contribueraient pas à l'utilité véritable de l'œuvre.

Note sur la détermination à l'aide de tableaux graphiques des **surfaces des profils de terrassements**, par M. Willotte, ingénieur des ponts et chaussées. — L'auteur s'est proposé d'examiner, dans cette note, deux problèmes que l'on peut avoir à résoudre lorsqu'il s'agit d'évaluer d'une manière expéditive la surface d'un profil en travers.

1° Trouver une méthode aussi simple que possible pour construire les profils en travers d'un projet de terrassement et calculer leurs surfaces en même temps;

2° Employer des constructions graphiques peu compliquées et ne néces-

sitant que l'outillage ordinaire du dessinateur pour calculer rapidement un grand nombre de surfaces de profils en travers.

Note sur une **méthode de calcul des terrasses** par réduction à l'horizontale, par M. Boulanger, ingénieur des ponts et chaussées.

Note sur **l'emploi de la dynamite gelée** pendant les travaux exécutés à Saumur, par M. Lebon, capitaine d'artillerie. — L'auteur, rappelant les terribles accidents causés par l'opération du dégel de la dynamite, indique que cette opération n'est pas nécessaire, même par des températures inférieures à 20° au-dessous de zéro, si on a soin d'employer des capsules et un mode d'amorçage convenables. A Saumur, on a consommé jusqu'à 1500 kilogrammes de dynamite par jour, et il eût été impossible de la faire dégeler dans les conditions d'installation improvisée où on se trouvait et avec des hommes dont beaucoup se servaient de cette substance pour la première fois.

Il est nécessaire, avec la dynamite gelée, d'avoir pour l'amorçage des cartouches spéciales, où le logement de la capsule soit préparé à l'avance, de sorte qu'on puisse toujours l'introduire facilement, que la dynamite soit molle ou qu'elle soit gelée.

Ce sont ces cartouches spéciales qu'on est convenu d'appeler pétards dans les services militaires.

On a employé à Saumur 14,508 de ces pétards pour une consommation totale de 12,887 kilogrammes de dynamite plus 250 kilogrammes de coton-poudre comprimé, qui a été employé mélangé aux charges de dynamite, et il n'y a pas eu un seul accident à déplorer du fait de ces explosifs.

NOVEMBRE.

Notice nécrologique sur M. Jegou d'Herbeline, inspecteur général des ponts et chaussées en retraite.

Note sur **les glaces et la débâcle de la Seine**, pendant l'hiver 1879-1880, par M. de Preaudeau, ingénieur des ponts et chaussées. — Les glaces et la débâcle de la Seine observées en décembre 1879 et janvier 1880, ont donné lieu aux remarques suivantes :

Lorsqu'à la suite de froids intenses et continus, avec neige abondante, la prise des rivières étant complète, il survient un dégel brusque avec élévation notable de température, la fonte des neiges suffit à produire des crues brusques sur les affluents et tend à provoquer une débâcle rapide des glaces. Des embâcles se préparent aux abords de chaque confluent, tant en aval, par l'accumulation des glaces de l'affluent, qu'en amont, par la diminution de la pente du bief.

Les crues des affluents soulèvent en même temps les glaces sur tout le

cours du fleuve et y déterminent des débâcles partielles qui peuvent être simultanées en divers points fort éloignés les uns des autres, et qui s'arrêtant devant les obstacles naturels ou artificiels qu'elles rencontrent, y forment des barrages momentanés qui emmagasinent la crue.

Les flots produits par la rupture de ces barrages déterminent enfin la débâcle totale.

Pendant les glaces et lors de la débâcle, les pentes et le régime du fleuve sont profondément modifiés ; aussi, les minimums d'une crue de débâcle, en différents points, atteignent, par rapport aux crues ordinaires, des hauteurs variables, tantôt plus faibles, tantôt plus fortes, et la vitesse de croissance d'une pareille crue, aussi bien que sa hauteur, échappe à toutes les prévisions.

Note sur **les glaces de la Saône** en 1879-1880, par M. PASQUEAU, ingénieur des ponts et chaussées. — Dès les premiers jours de décembre 1879, les glaces venant d'amont s'amoncelèrent dans la mouille large et profonde que présente la Saône entre Lyon-Vaise et l'Ile-Barbe, et s'y soudèrent formant une embâcle englobant un certain nombre de bateaux et plus de 50 radeaux.

On se mit immédiatement à ouvrir un chenal de 50 mètres de largeur et de 1 kilomètre de longueur, pour isoler les radeaux du massif des glaces et les faire descendre au-dessous de Lyon avant la débâcle ; on employa pour faire ce chenal des batelets à glace qu'on faisait monter partiellement sur la glace en les tirant avec des cordes, puis des mariniers sautaient en cadence sur l'avant des bateaux pour fendre la glace. On se servit aussi d'un remorqueur à vapeur, et enfin de dynamite à faible charge ; mais le 3 janvier 1880, le glacier tout entier se mit en mouvement sous l'influence d'une crue et vint briser tous les radeaux contre les ponts qu'ils obstruèrent. Il fallut dégager ces ponts des débris. Pour se délivrer de ces pièces de bois qui avaient souvent 0^{m},60 d'équarrissage et plus de 25 mètres de longueur, on les a :

Ou tirées

1° Avec des hommes,
2° Avec des chevaux,
3° Avec des treuils,
4° Avec des bateaux à vapeur

Ou coupées

1° Avec des haches,
2° Avec des scies,
3° Avec de la dynamite.

On a pu dégager les quatre ponts en six jours ; plus de 1100 pièces de bois avaient été tirées des embâcles, mises en radeaux et conduites en aval ; 325 avaient été coupées ou envoyées à la dérive ; la traversée de Lyon était libre et prête à recevoir la débâcle.

On a pu calculer que le volume des glaces accumulées entre Vaise et l'Ile-Barbe était compris entre *trois et cinq millions de mètres cubes*. La Saône était complètement obstruée par ce glacier qui soutenait une chute de plus de *trois mètres*.

Cette chute constituait un danger des plus graves pour Lyon, et il était indispensable d'ouvrir sans retard un chenal pour tâcher de vider la retenue et prévenir le désastre avant la rupture par le dégel. On dut recourir à l'emploi de la dynamite à fortes charges, 2, 3 et 5 kilogrammes.

La dynamite était dégelée au moyen de cuviers en bois contenant de l'eau maintenue à 50° par l'eau bouillante fournie par une locomobile maintenue en feu nuit et jour ; la dynamite était placée en cartouches dans des seaux en zinc qu'on plaçait dans les cuviers.

Le 20 janvier on acheva, par une derniere série d'explosions à forte charge, d'ouvrir définitivement le chenal de 80 mètres de largeur sur 2 kilomètres de longueur entre deux falaises de glace dépassant de 5 à 6 mètres le niveau de l'eau, et le danger était conjuré. Il ne resta plus qu'à maintenir avec quelques précautions le chenal ouvert depuis le 20 janvier jusqu'au dégel qui commença le 10 février.

La dépense totale a été :

1° pour le chenal de la première période	12,996f,80
2° pour les ponts et la rampe de Vaise	18,775 40
3° pour le chenal de la mer dé glace	30,434 05
Total	62,206f,25

La note ajoute qu'on a consommé, en outre, 1500 kilog. de dynamite n° 3, livrée *gratuitement* par l'autorité militaire, et qui auraient pu être remplacés par 900 kilogr. de dynamite n° 1, coûtant 7200 fr.

Nous croyons devoir donner textuellement les conclusions de l'auteur, à cause de l'intérêt qui s'attache à cette question de premier ordre pour certaines contrées. On voit qu'il ne faut pas, en pareil cas, se laisser effrayer par la hauteur et la longueur excessives de la terrasse supérieure du glacier. Il faut attaquer résolument l'embâcle par l'aval et ouvrir un chenal très large par les moyens les plus énergiques et les plus rapides. Il faut pour cela chasser avec des batelets les glaces mal soudées de la queue d'aval, pétarder avec des cartouches doubles les nappes locales ou les massifs relativement minces, attaquer enfin vigoureusement les barres du fond avec de la dynamite en charges de 1 à 5 kilogrammes, sans ménager les munitions et sans s'encombrer d'un personnel inutile.

En opérant ainsi, il y a tout lieu d'espérer qu'on arrivera promptement à couper les racines de l'embâcle, qui sont toujours dans la partie basse du glacier, vers l'extrémité aval du massif général des glaces et que la *mer de glace* tout entière disparaîtra ensuite comme par enchantement, dès qu'on aura réussi par les travaux à supprimer l'obstacle qui en a déterminé la formation.

Rapport sur **les divers systèmes de signaux en usage** et l'application des **appareils d'enclenchement pour la protection des bifurcations** par M Heurteau, ingénieur des mines. — Ce rapport a déjà été donné dans la quatrième livraison de 1880 des Annales des mines, et les conclusions en sont reproduites dans les comptes rendus de novembre.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ALLEMANDS.

8me *livraison de* 1880.

Les courroies de transmission, par M. A. Krebst, adjoint à l'École technique supérieure de Munich.

Sur la structure microscopique et la cristallisation de la fonte, principalement de la fonte grise, par M. A. Martens, ingénieur à Berlin.

Dépense d'eau et de charbon des locomobiles agricoles allemandes.

Mécanisme de vannage circulaire pour turbines de G. Knop.

Distribution Corliss, système Proéll, de Dresde.

Fabrication des rails d'acier, de Braune.

9me *livraison de* 1880.

L'influence de la protection des marques de fabrique sur le développement de l'industrie, par le professeur Klostermann, de Bonn.

Sur l'application du système Compound aux locomotives, par M. von Borries, ingénieur du matériel des chemins de fer de l'État de Hanovre.

Sur les courroies de transmission, par M. Krebst (suite).

Machines à deux cylindres.

Chauffage préalable de l'air pour le chauffage des chaudières.

Calcul de la résistance des réservoirs cylindriques.

Appareils de graissage, par M. Rosenkranz.

10me *livraison.*

Les petits moteurs, par M. Slaby, professeur à l'École technique supérieure de Berlin.

Tracé graphique pour les distributions par tiroirs, par M. Hollenberg, constructeur, à Dinslaken.

Extraction des déblais au moyen d'un courant d'eau, pour fondations, dragages, etc., par M. Weiss, ingénieur, à Brême.

Soupapes de sûreté pour cylindres à vapeur, permettant l'extraction continue de l'eau condensée sans perte de vapeur, par M. Bachman, ingénieur à Linden, près Hanovre.

Appareils de graissage par M. Rosenkranz (suite).

Application du système Compound aux locomotives, par M. Schaltenbrand, ingénieur à Berlin.

De l'emploi des locomotives pour service secondaire ou fortes rampes et particulièrement des locomotives à crémaillère, par M. C. Müller.

11me livraison.

Le touage à vapeur, par le professeur Teichmann, de Stuttgard.

Sur une nouvelle perforatrice à main, par M. Faber, ingénieur à Barmen.

Dimensions des courroies de transmission, par M. Kolster, ingénieur à l'Institut polytechnique finlandais, à Helsingfors.

Machine à trois cylindres de Siegel, par M. Gebhard.

Extraction des déblais au moyen d'un courant d'eau, pour travaux de fondations, dragages, etc. par M. Weiss, ingénieur à Brême (suite).

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ET ARCHITECTES D'AUTRICHE.

N° 5. — 1880.

Le tachymètre de Stern, par M. F. Klein.

Procédés graphiques pour le **calcul des dimensions des murs de soutènement**, par M. J. Rychter.

Sur la **construction des planchers à l'étranger,** par M. F. Kapaum.

Le service secondaire sur les chemins de fer à voie normale avec application à la réorganisation du chemin de fer National-Suisse, par M. Pollaczeck; analyse par M. G. Plate.

Nos 6 ET 7.

Le chemin de fer local de Unter-Drauburg à Wolfsberg et le chemin principal de Tarvis à Pontafel, par M. L. Huss.

Chevalets en fonte du nouveau puits des mines de Rossitz, par M. Hugo Rittler.

Note sur le **calcul des arcs élastiques reposant sur pivots**, par M. le professeur Brick.

Nos 8 ET 9.

Chemin de fer d'Udine à Pontebba, par M. E. L. . . . . .

Note sur le **calcul des arcs élastiques reposant sur pivots** (suite).

Règles pour simplifier l'étude de la construction des chemins de fer d'intérêt local, par M. J. Porges.

Le Secrétaire-Rédacteur,

A. MALLET.

TABLE DES MATIÈRES

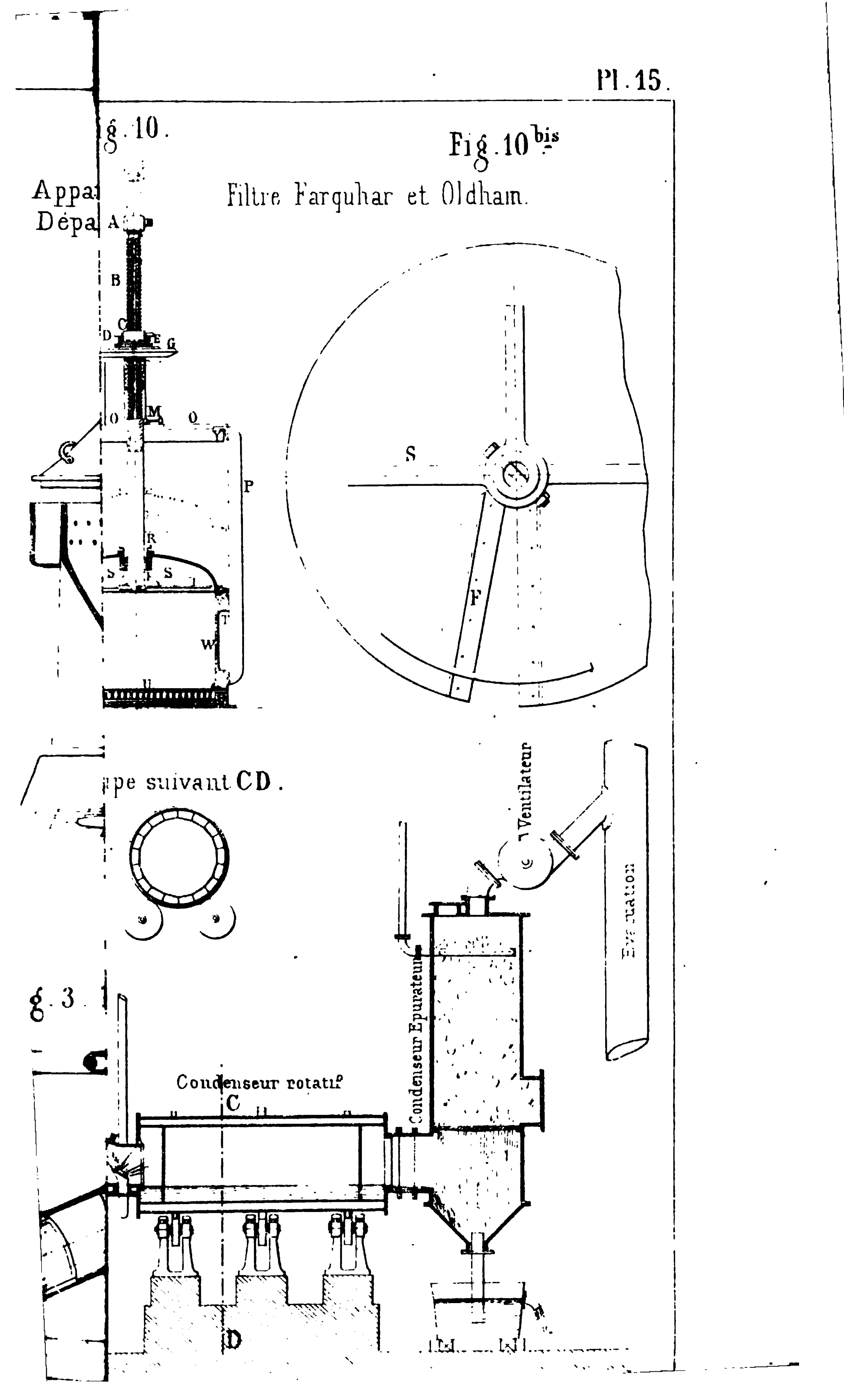
Traitées dans la Chronique de 1880.

TABLE GÉNÉRALE DES MATIÈRES

CONTENUES

DANS LE DEUXIÈME VOLUME 1880.

Paris — Imprimerie E. Capiomont et V. Renault, rue des Poitevins, 6.



ǵ. 10.
Fig. 10 bis
Filtre Farquhar et Oldham.
Appa
Dépa
A
B
C
D
E
G
O
M
O
Y
P
R
S
S
T
W
U
S
F
ıpe suivant CD.
ǵ. 3.
Ventilateur
Condenseur Epurateur
Condenseur rotatif
C
D

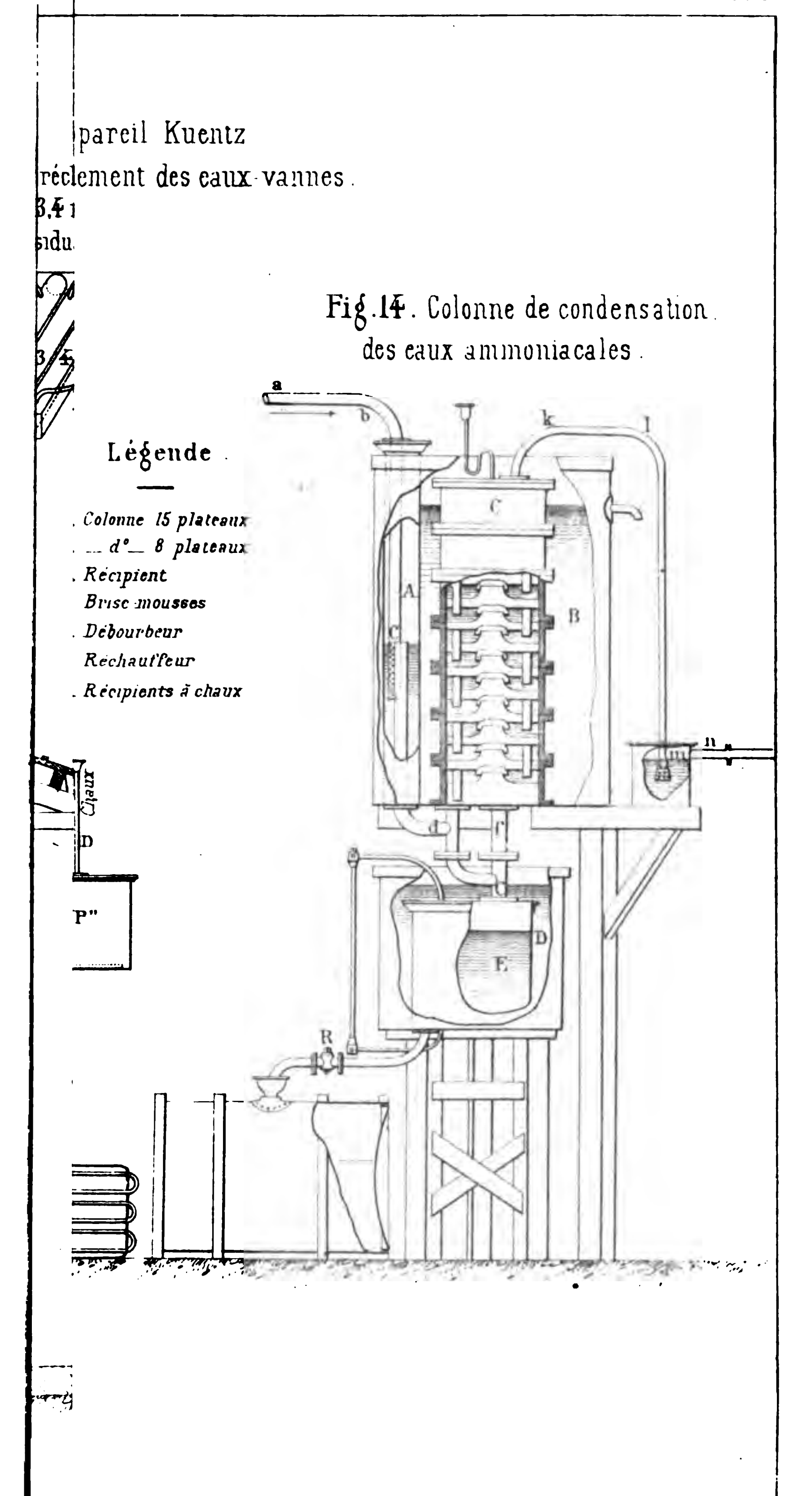


Fig. 14. Colonne de condensation des eaux ammoniacales.

